

Rapport de stage de césure, cursus deuxième année ingénieur agronome ENSAT

Année : 2009-2010

Stagiaire : Camille DELPOUX

Traitements par tâches au Synéis Appât®

**Mise au point d'un support d'application
adapté à la culture sous treille ou dans des
conditions de forte pluviométrie**



Direction de stage : Jean Philippe Deguine (Entomologiste-Agroécologue)

Unité Mixte de Recherche 53 Protection des végétaux et des Bioagresseurs en
Milieu Tropical (CIRAD) Station Ligne Paradis

7 chemin de l'IRAT

97410 SAINT PIERRE

0262499231 jean-philippe@cirad.fr

Remerciements

Je souhaiterais avant tout remercier les nombreuses personnes qui m'ont permis de réaliser ce stage dans de très bonnes conditions.

Tout d'abord un grand merci à Jean-Philippe Deguine mon maître de stage, qui a été disponible et m'a donné de bons conseils tout au long du stage. Merci de m'avoir intégré à l'équipe et de m'avoir laissé une certaine autonomie pour mener à bien mon projet. Ce fut très formateur, et ça m'a permis de découvrir de nombreux aspects du monde de la recherche. Grâce à toi j'ai appris beaucoup de choses pendant ces 6 mois.

Merci également à toute l'équipe entomo : Moutou, Cédric, Babette, Toulassi pour leur accueil et leur constante bonne humeur. Vous m'avez permis de découvrir mes nouvelles copines les mouches. Merci à toi Moutou pour m'avoir aidé à compter inlassablement les petites Bc (je pense que tu garderas de bon souvenir des parapluies enduits de glu), mais aussi pour la gestion de l'élevage qui m'a permis de réaliser la totalité des manip prévues. Cédric merci de ta disponibilité et de ton aide sur le terrain. Babette et Toulassi tous vos conseils m'ont été précieux tant pour la rédaction que pour la mise en place des expériences. Merci de m'avoir fait profiter de votre expérience d'ex stagiaires et de VCAT. Babette tu t'es occupé de nous comme une petite maman, et c'était bien de savoir que tu étais toujours là que ça soit pour m'entendre râler ou pour rigoler. Merci pour tout. Sophie et Emilie, le stage n'aurait pas été le même sans vous. Ce fût un plaisir de partager les petites galères du terrain, les levers à 4h du matin et les scripts de R qui ne marchent jamais. Sophie merci pour tes conseils de coloristes, mes graphiques te doivent une fière chandelle !

Fred et Sylvaine, grâce à vous je n'ai plus de boutons quand j'ouvre un script de R. Votre aide m'a été très précieuse. Merci pour votre disponibilité et votre patience pour répondre à mes questions. Merci également à Erwann pour tous les petits problèmes info qu'il a résolu.

Merci à Raymond et Serge pour leur aide pour les données météo et l'utilisation du spectrophotomètre. Et merci aux agriculteurs qui m'ont gentiment prêté leur parcelle pour réaliser mes essais.

.Merci à toute l'équipe de thésards, stagiaires, VCAT du CIRAD de m'avoir fait découvrir La Réunion et tout ce qui va avec. Les soirées et les week ends n'auraient pas été les mêmes sans vous ! Gilles et Alex vous avez fait de moi presque une surfeuse, comment je vais faire à Toulouse sans vagues maintenant ?

Je tenais aussi à remercier mes anciens collocs de Toulouse qui sont venus me rejoindre ici Kek et Paulo c'était vraiment énorme de vous retrouver ici. On se revoit l'an prochain à Bordeaux ou Toulouse.

Sommaire

INTRODUCTION.....	7
1. ETAT DES CONNAISSANCES	9
1.1. LES MOUCHES DES LEGUMES.....	9
1.1.1. Dégâts.....	9
1.1.2. Mouches présentes à la Réunion.....	9
1.1.3. Le cycle biologique des trois espèces de mouches des Cucurbitacées.....	11
1.2. PROTECTION CONTRE LES MOUCHES.....	13
1.2.1. Une lutte agrochimique inefficace.....	13
1.2.2. Les méthodes de lutte existantes à travers le monde.....	13
1.2.3. Vers une gestion agroécologique des mouches des Cucurbitaceae à la Réunion.....	15
1.3. LE SYNEIS APPAT®.....	23
1.3.1. Ce qu'on en connaît.....	23
1.3.2. Rôle dans un plan de protection agroécologique.....	25
1.4. CAHIER DES CHARGES DE LA TECHNIQUE RECHERCHEE : UN SUPPORT D'APPLICATION ADAPTE AUX CONTRAINTES DE LA REUNION	25
1.4.1. Application du Synéis Appât® sur un support.....	25
1.4.2. Contraintes imposées pour La Réunion.....	27
2. TESTS EN GRANDES CAGES.....	31
2.1. MATERIEL ET METHODES.....	31
2.2. COMPORTEMENT DES MOUCHES EN PRESENCE DU SUPPORT D'APPLICATION DE REFERENCE	33
2.3. MISE A L'EPREUVE DU SUPPORT DE REFERENCE	37
2.3.1. Modalités d'application du Synéis Appât® dans le parapluie jaune.....	37
2.3.2. Part des différents éléments du parapluie dans l'attractivité	39
2.3.3. Test d'efficacité selon l'âge des mouches de l'espèce <i>B. cucurbitae</i>	43
2.3.4. Test d'efficacité sur 3 espèces de mouches des fruits	45
2.4. MISE AU POINT D'UN SUPPORT OPTIMAL.....	47
2.4.1. Type de support.....	47
2.4.2. Couleurs.....	50
2.4.3. Prise de nourriture sur 2 supports.....	52
3. TESTS AU CHAMP.....	54
3.1. ETUDE COMPORTEMENTALE.....	54
3.2. COMPARAISON DES SUPPORTS	56
3.2.1. Matériel et méthodes.....	56
3.2.2. Résultats.....	56
3.2.3. Conclusion	56
3.3. COMPORTEMENT DU SUPPORT RETENU AU CHAMP, FACE A LA PLUIE ET AU SOLEIL.....	58
3.3.1. Matériel et Méthodes	58
3.3.2. Résultats.....	58
4. DISCUSSION	61
4.1. PERTINENCE DES RESULTATS PAR RAPPORT AUX OBJECTIFS.....	61
4.1.1. Mise au point d'un nouveau support du Synéis Appât® adapté aux contraintes imposées par La Réunion	61
4.1.2. Comparaison avec les supports existants	62
4.1.3. Application des résultats.....	62
4.2. LIMITES ET PERSPECTIVES D'ETUDE.....	63
4.2.1. Difficultés expérimentales.....	63
4.2.2. Limites méthodologiques	63
4.2.3. Perspectives	63
CONCLUSION.....	65
BIBLIOGRAPHIE.....	66
ANNEXES	70

Introduction

Les mouches des légumes (Diptera :Tephritidae) sont les principaux ravageurs des cultures maraichères dans le monde entier. Sans protection adaptée, elles peuvent causer jusqu'à 90% de pertes au niveau de la récolte (Vayssière, 1999).

La diversité climatique de La Réunion a permis le développement de trois espèces de mouches appartenant à la famille des Tephritidae et la tribu des Dacini : *Bactrocera cucurbitae*, *Dacus ciliatus* et *Dacus demmerezii*. En 2008, 408 065 quintaux de légumes frais ont été produits dans les exploitations de La Réunion (Memento Agreste 2009). Cette production non négligeable au niveau économique est menacée par les mouches des légumes, classés comme les premiers ravageurs des systèmes horticoles sur l'île. Face à cette situation, la lutte chimique est le plus souvent la solution adoptée par les agriculteurs. Elle se révèle pourtant inefficace, coûteuse et néfaste pour l'environnement notamment à cause de l'impact des produits phytosanitaires sur les nappes phréatiques, les populations d'insectes prédateurs et la santé humaine. D'autres moyens doivent être envisagés pour gérer la population de ces ravageurs. Une approche agroécologique consiste à intégrer les communautés végétales (cultures et plantes pièges) et animales (mouches des légumes, prédateurs, parasitoïdes) à grande échelle afin de rétablir les équilibres écologiques entre elles. Le projet GAMOUR mené par le CIRAD à La Réunion qui a été débuté en 2009, s'inscrit dans la gestion agroécologique des mouches des légumes. Il a pour but de transférer les connaissances aux agriculteurs au moyen de techniques agroécologiques : le paquet SP5 (surveillance des populations, prophylaxie, plantes de bordure, parasitoïdes et prédateurs, piégeage de masse, pratiques agroécologiques). Dans le cadre de ce programme des bordures de maïs associées à un bio insecticide attractant, le Synéis Appât® (Dow Agrosience), ont permis de réduire sensiblement les populations de mouches des légumes.

Cependant, quelques limites persistent. Cette méthode n'est pas applicable à des cultures sous treilles telles que la culture du Chouchou (*Sechium Edule*). En effet les bordures ne peuvent pas être plantées à des intervalles assez rapprochés, et les populations de mouches ne séjournent pas dans les abords immédiats de la parcelle comme pour la plupart des cucurbitae (Vayssière 1999) mais au niveau de la treille elle-même.

Pour les autres cultures de Cucurbitacées (courgettes, concombres, citrouilles), le facteur limitant de l'application du Synéis Appât® sur les bordures de maïs est liée au climat de La Réunion. L'île possède des records mondiaux de pluviométrie (Météo France). Ainsi le lessivage du Synéis Appât® dû aux pluies fréquentes, nécessite un coût financier et de main d'œuvre supplémentaire pour les agriculteurs (fréquence de pulvérisation et quantité de produit plus élevées).

Pour répondre à ces problèmes, il est nécessaire de trouver une solution pour appliquer le Synéis Appât® sous les treilles de chouchou et le protéger contre la forte pluviométrie.

L'objectif principal de cette étude est de concevoir un support répondant aux contraintes citées plus haut : fort lessivage du produit et problème de l'application pour les cultures sous treille. Pour cela un cahier des charges du support répondant aux contraintes identifiées devra être établi et l'efficacité du Synéis Appât® lorsqu'il est appliqué sur un support sera vérifiée en conditions contrôlées (grandes cages). Le support retenu sera également testé au champ.

Dans un premier temps cette étude dressera le bilan de l'état des connaissances, sur les mouches des légumes, le Synéis Appât® et établira le cahier des charges attendues pour le nouveau support. Dans un deuxième temps on se propose d'étudier en grandes cages différents supports pour le Synéis Appât® puis de tester au champ le support retenu. Les résultats devraient permettre d'optimiser l'application du Synéis Appât® dans les systèmes horticoles de la Réunion.

Tableau 1 : Systématique des mouches des légumes nuisibles aux Cucurbitacées à La Réunion

FAMILLE	Tephritidae		
Sous-famille	Dacinae		
Tribus	Dacini		
Genres	Dacus		Bactrocera
Sous-genres	Dacus	Didacus	Zeugodacus
Espèces	D.demmerezi (Bezzi)	D.ciliatus (Loew)	B.cucurbitae (Coquillett)
Noms vernaculaires	Mouche des Cucurbitacées de l'Océan Indien	Mouche éthiopienne des Cucurbitacées	Mouche du melon



Figure 1 : Adulte femelle de *Bactrocera cucurbitae*



Figure 2 : Adulte femelle de *Dacus demmerezi*



Figure 3 : Adulte femelle de *Dacus ciliatus*

1. Etat des connaissances

1.1. Les mouches des légumes

1.1.1. Dégâts

Les mouches des légumes (Diptera : Tephritidae) sont les ravageurs principaux des cucurbitacées et cultures maraichères dans le monde entier. La famille des Tephritidae comprend environ 4000 espèces dont 700 qui appartiennent aux D'acine. 250 espèces ont une importance au niveau économique. Elles causent des dégâts directs sur les cultures (fruits piqués invendables), ainsi que des dégâts indirects (développements de microorganismes au niveau des blessures causées par l'oviposition). Les femelles peuvent pondre une grande quantité d'œufs pendant leur vie d'adulte et se déplacent rapidement de fruits en fruits ce qui en fait un ravageur redoutable. Les pertes dues aux mouches des légumes peuvent atteindre 90% si aucune mesure n'est prise (Vayssières, 1999). Les fruits perdent en qualité et leur coût augmente notamment à cause des barrières limitant les exports des produits touchés. Cela place ces produits en mauvaise position face à la concurrence sur le marché international (Nishida 1957).

1.1.2. Mouches présentes à la Réunion

- **Position systématique des Dacini**

Les Mouches des Cucurbitaceae appartiennent à l'ordre des Diptera, au sous-ordre des Brachycera Cyclorrhapha, à la super famille des Tephritoidea et à la famille des Tephritidae (Delvare & Aberlenc, 1989). Les trois espèces de mouches nuisibles aux Cucurbitaceae à La Réunion appartiennent à la sous-famille des Dacinae et à la tribu des Dacini (White & Elson-Harris, 1992): *Bactrocera* (*Zeugodacus*) *cucurbitae* (Coquillett, 1873), *Dacus* (*Didacus*) *ciliatus* (Loew, 1862) et *Dacus* (*Dacus*) *demmerezi* (Bezzi, 1923). (Tableau 1)

- **Caractéristiques et reconnaissance des trois espèces**

La distinction entre les adultes mâles et femelles repose essentiellement sur la présence chez la femelle d'un ovipositeur à l'extrémité de l'abdomen.

⇒ *Bactrocera cucurbitae* (Figure 1)

La mouche du melon, a été introduite à La Réunion à partir de l'île Maurice, qu'elle avait probablement colonisée à partir de l'Inde en raison du grand nombre d'échanges commerciaux entre ces deux pays (Etienne, 1982). L'adulte, de couleur orangée, possède un scutum* avec trois lignes médianes jaunes parallèles, deux larges bandes jaunes latérales et deux macules noires frontales. Les ailes portent trois taches noires.

Abréviations : Parapluie jaune avec coton imbibé de Synéis Appât® : **CJ (ci)**, Parapluie jaune avec coton imbibé d'eau : **CJ (eau)**, Parapluie jaune avec coton imbibé de Synéis Appât® et glu sur la paroi intérieure : **CJG (ci)**, Parapluie jaune avec glu sur la paroi intérieure : **CJG**, Parapluie jaune seul : **CJ**, Parapluie jaune avec Synéis Appât® et glu appliqués sur la paroi intérieure : **CJG (pi)**, Tâche de Synéis Appât sur maïs : **TM**, Assiette jaune : **AJ**, Mc Phail : **MCP**, Demi bouteille jaune verticale : **DBJV**, Parapluie jaune avec Synéis Appât® appliqué sur la paroi intérieure : **CJ (pi)**, Demi bouteille jaune horizontale : **DBJH**, Fond de bouteille transparente de 1,5 L : **FBT**, Fonds de bouteilles d'huile colorés : **FBJ**, **FBR**, **FBB**, Haut de bouteille transparente de 5L : **B5L**. (Supports détaillés en annexe).



Figure 4 : Cycle biologique des trois espèces de Mouches des légumes

⇒ *Dacus demmerezi* (figure 2)

La mouche des cucurbitacées de l'Océan Indien, est considérée comme originaire de Maurice, où elle a été décrite par Bezzi en 1923 (Orian&Moutia, 1960). Elle est présente également à Madagascar (Paulian, 1953) et à La Réunion (Etienne, 1982). L'adulte est de couleur brune à brune-orangée, il porte deux macules noires frontales, deux soies scutellaires et une ligne latérale jaune remontant de la plaque latérale dorsale jusqu'au scutum. Les ailes sont caractérisées par une grande nervure sur laquelle est centrée une tache sombre diffuse.

⇒ *Dacus ciliatus* (figure 3)

La mouche éthiopienne des cucurbitacées, est probablement originaire d'Ethiopie où, elle est très largement distribuée (Maher, 1957). A La Réunion, elle a été signalée en 1964 par Pointel (Etienne, 1982). L'adulte de couleur rouge-orangée porte deux macules noires frontales et deux soies scutellaires. De plus, ses ailes sont transparentes avec une ligne costale noire qui se termine par une bande apicale.

- **Distribution spatiale des trois espèces sur l'île**

B.cucurbitae domine *D. demmerezi* dans la zone littorale jusqu'à 600 m. Dans cette zone, *D. ciliatus* peut coexister de façon assez abondante avec *B. cucurbitae*. En revanche, dès 600 m, *D. demmerezi* domine *B. cucurbitae* qui disparaît au-delà de 800 m. *Dacus ciliatus* peut coexister avec *D. demmerezi* dans une tranche d'altitude comprise entre 600 et 1200 m. Puis, de 1200 à 1500 m, seule *D. demmerezi* est présente (Vayssières & Carel, 1999). La distribution des adultes de Dacini est liée essentiellement à des facteurs climatologiques, notamment aux variables altitude et température, ainsi qu'à la disponibilité en plantes hôtes (Vayssières, 1999).

1.1.3. Le cycle biologique des trois espèces de mouches des Cucurbitacées

Les Dacini sont des insectes holométaboles. Les femelles pondent en général dans les jeunes fruits localisés grâce à divers stimuli. Le cycle, dont la durée diffère selon les espèces, se déroule en plusieurs étapes (White & Elson-Harris, 1992) (figure 4):

Oeuf: il est en général blanc et allongé. Les paquets d'œufs sont pondus dans les premiers millimètres sous l'exocarpe du fruit.

Larve (asticot) : elle se développe dans le fruit en consommant sa pulpe et passe par trois stades. Juste avant la pupaison, l'asticot, de couleur ivoire avec une partie antérieure allongée munie deux crochets buccaux noirs, sort du fruit en sautant, tombe au sol et s'y enfouit pour se nymphoser.

Pupe: elle a la forme d'un tonnelet de couleur jaunâtre avec des stries transversales brunes.

Adulte: après émergence, on considère que 10 jours sont nécessaires" pour 'qu'il atteigne la maturité sexuelle.

1.2. Protection contre les mouches

1.2.1. Une lutte agrochimique inefficace

La mise en place de méthodes de lutte efficaces contre les *Dacini* ravageurs des cucurbitacées s'avère très difficile, sachant que les différents stades du cycle biologique sont localisés dans divers sites: les œufs et les larves se développent dans les fruits tandis que la puppe est enfouie dans le sol. La plupart des méthodes de lutte ciblent donc le stade adulte. Pour obtenir une efficacité optimale, la lutte doit être menée pendant la période de préoviposition (période de maturation sexuelle) de la femelle afin d'empêcher la ponte. Il existe actuellement deux approches de lutte chimique contre les mouches : la lutte chimique classique et la lutte chimique raisonnée. La première est la plus couramment utilisée par les agriculteurs malgré les conséquences sanitaires et écologiques néfastes qu'elle engendre. Elle consiste en la pulvérisation d'insecticides pendant la période de sensibilité des fruits, (Roessler, 1989). Des études ont révélé que le malathion était le plus efficace (Jones & Skepper, 1965). Des résultats assez bons ont été attribués à la lutte chimique, du fait notamment qu'il n'a pas été réellement recensé de résistance aux insecticides chez les *Dacini* (Roessler, 1989). Actuellement, il est admis que la lutte chimique, contre les ravageurs et plus particulièrement, contre les Mouches des Cucurbitacées, mène à des impasses économiques, environnementales et sociales (Deguine et al, 2008). Afin de limiter ces effets néfastes, la lutte chimique raisonnée a été envisagée. Celle-ci apporte une attention accrue aux modalités de traitements (fréquence, techniques d'application) et aux choix des insecticides (doses, familles). Néanmoins, cette lutte reste peu satisfaisante.

1.2.2. Les méthodes de lutte existantes à travers le monde

- **Les méthodes culturelles** sont un complément indispensable afin d'abaisser les populations de mouches en dessous des seuils de nuisance. Par exemple, une méthode prophylactique consiste à collecter puis détruire ou isoler tous les fruits infestés qui constituent des réservoirs de mouches (Nishida & Bess, 1957).

- **La lutte par suppression des mâles** ou « Male Annihilation Technique » (MAT) a été mise au point par Steiner & Lee en 1955. Cette méthode vise les mâles que l'on attire et tue grâce à un attractif sexuel (Cue Lure®) associé à un insecticide placé dans le même dispositif. Le Cue Lure® s'est avéré particulièrement puissant pour attirer les mâles *B. cucurbitae* à Hawaii (Mc Gregor, 2007). A La Réunion, cet attractif n'attire que les mâles de *B. cucurbitae* et de *D. demmerezi*. Dans ce contexte, cette méthode ne peut être utilisée seule car elle pourrait provoquer un remplacement de ces espèces par *D. ciliatus* qui n'est pas attirée.

- **La lutte autocide** ou « Sterile Insect Technique » (SIT) a été conçue par E.F. Knippling (1955). Elle est basée sur l'élevage, la stérilisation par radiations ionisantes ou par chimiostérilisation et le lâcher d'un nombre suffisant de mâles stériles compétitifs en vue de les mettre en compétition avec la population de mâles sauvages. Le ratio de mâles stériles doit être suffisant pour permettre la diminution du potentiel reproductif de la population cible. Des succès d'éradication de populations de *B. cucurbitae* sur diverses îles d'Hawaii ont été obtenus (Steiner *et al.*, 1965 ; Ito & Koyama, 1982 ; Shiga, 1989 ; Kakinohana *et al.*, 1997).

- **La lutte biologique:** les premiers travaux contre les Tephritidae ont commencé au début du siècle. Une des premières actions fut menée à Hawaï contre *B. cucurbitae* par Fullaway (1920) grâce à des lâchers de *Psytalia fletcheri* Silvestri (Braconidae) un parasitoïde larvopupal. Contre *D. ciliatus* à l'Île Maurice, Moutia (1934) introduisit *Opiusphaeo stigma* Wilkinson à partir de l'Afrique du Sud. A La Réunion, après des introductions massives de plusieurs espèces de parasitoïdes, Etienne (1974) a reconnu des résultats très limités dans leur établissement. *Psytalia fletcheri* provenant d'Hawaï a été acclimaté avec succès à La Réunion à la fin des années 90 (Quilici et al., 2004).

- **La lutte biotechnique:** ce terme a été utilisé pour la première fois par Bolier dans les années 80. Cette lutte consiste en l'utilisation des connaissances sur le comportement des espèces en réponse à des stimuli olfactif et visuel pour une meilleure manipulation des populations (attraction, piégeage, ...).

1.2.3. Vers une gestion agroécologique des mouches des Cucurbitaceae à la Réunion

La protection des cultures contre les mouches, qui a longtemps reposé sur une base agrochimique est aujourd'hui à la croisée des chemins à cause des nombreux risques provoqués par ces pratiques. L'enjeu est de développer d'autres procédés s'affranchissant des intrants chimiques. Le programme IPM (Integrated Pest Management), mis en place dans les années 1970, a constitué les prémices d'une lutte raisonnée. Cette lutte n'a généralement intégré que de la lutte biologique et chimique dans une démarche curative. L'enjeu actuel serait de passer à une démarche de prévention des infestations de mouches, basée sur un fonctionnement écologique plus équilibré et durable des agrosystèmes. Cette approche s'appuie sur une gestion agroécologique des communautés végétales (plantes cultivées et non cultivées) et animales (insectes ravageurs, insectes utiles, pollinisateurs) à des échelles de temps, d'espace et de gestion élargies.

• **Bases conceptuelles de l'agroécologie**

La notion d'agroécologie n'est apparue qu'à partir des années 1970 avec la naissance du terme agroécosystème (Harper, 1974). La définition présentée par Dalgaard et al. (2003) est désormais admise dans la communauté scientifique : l'agroécologie est l'étude des interactions entre plantes, animaux, homme et environnement à l'intérieur des agroécosystèmes. Le principe fondateur de la gestion agroécologique d'un agrosystème est de restaurer la biodiversité en s'inspirant des systèmes naturels et ceci dans le but de se rapprocher du fonctionnement des écosystèmes naturels (Nicholls&Altieri, 2004). Les principes à suivre sont :

- de conserver les ressources
- de minimiser l'utilisation d'intrants chimiques
- de gérer l'agrosystème à plusieurs échelles (exploitation, communauté, régional, national) avec des techniques appropriées
- de s'ajuster à l'environnement local et le diversifier
- de mettre en priorité les avantages à long terme
- d'impliquer les gens (pratiques traditionnelles, savoirs locaux)

On considère que c'est la diversité des espèces qui explique le plus largement la stabilité et la durabilité des écosystèmes naturels (Dupraz, 2006), qu'on a souvent traduit par la règle des 5M « Making Mimics Means Managing Mixtures » (imiter la Nature impose de mélanger les espèces).

Abréviations : Parapluie jaune avec coton imbibé de Synéis Appât® : **CJ (ci)**, Parapluie jaune avec coton imbibé d'eau : **CJ (eau)**, Parapluie jaune avec coton imbibé de Synéis Appât® et glu sur la paroi intérieure : **CJG (ci)**, Parapluie jaune avec glu sur la paroi intérieure : **CJG**, Parapluie jaune seul : **CJ**, Parapluie jaune avec Synéis Appât® et glu appliqués sur la paroi intérieure : **CJG (pi)**, Tâche de Synéis Appât sur maïs : **TM**, Assiette jaune : **AJ**, Mc Phail : **MCP**, Demi bouteille jaune verticale : **DBJV**, Parapluie jaune avec Synéis Appât® appliqué sur la paroi intérieure : **CJ (pi)**, Demi bouteille jaune horizontale : **DBJH**, Fond de bouteille transparente de 1,5 L : **FBT**, Fonds de bouteilles d'huile colorés : **FBJ**, **FBR**, **FBB**, Haut de bouteille transparente de 5L : **B5L**. (Supports détaillés en annexe).



Source: JP Deguine

Figure 5 : Bouteille de GF 120®

Dans ce contexte, la diversité végétale joue un rôle central et les pratiques culturales qui permettent de la promouvoir représentent les bases de la gestion des habitats (Gurr *et al.*, 2004).

- **La gestion agroécologique des ravageurs**

Dans le cas de la gestion de ravageurs tels que les *Dacini*, la conception d'agroécosystèmes défavorables à long terme au développement ces derniers et moins vulnérables à leurs invasions, infestations et pullulations repose sur l'élaboration de solutions d'ordre agroécologique (Deguine *et al.*, 2008). La santé des cultures et la stabilité de la production résultent d'un équilibre écologique entre les cultures, le sol, les nutriments, la lumière, l'humidité et les divers composants de la biocénose* (Deguine *et al.*, 2007). Pour rendre l'agroécosystème peu sensible aux ravageurs, les agroécologues cherchent à se rapprocher du fonctionnement des écosystèmes naturels. Ils s'appuient sur deux principales bases de travail visant à se rapprocher de ces écosystèmes durables:

- l'incorporation de diversité végétale au sein de l'agroécosystème
- la conservation et l'amélioration de la santé des sols (fertilité, activité biologique, structure, ...) (Altieri, 1999).

Outre les techniques classiques de protection intégrée, l'accent est mis sur les pratiques culturales et les modalités de gestion des peuplements végétaux favorisant le maintien ou la création d'habitats favorables à la faune utile indigène et/ou défavorables à la faune nuisible. La protection agroécologique des cultures s'opère à des échelles de temps et d'espaces élargies, passant du simple cycle de culture à plusieurs années et de la parcelle à l'agroécosystème ou au paysage. Elle associe la gestion de peuplements végétaux (culture et plantes non cultivées aux abords des parcelles comme dans l'agroécosystème en son entier) à celle de peuplements animaux tels que ravageurs, auxiliaires divers et pollinisateurs (Deguine *et al.*, 2008). La protection agroécologique des cultures implique donc une action concertée entre les différents acteurs concernés, notamment les agriculteurs et les gestionnaires de l'espace.

- **L'exemple d'Hawaii**

Dans le cas de la gestion agroécologique des mouches des cucurbitacées, des travaux réalisés à Hawaii depuis les années 1957, ont abouti à des résultats très prometteurs et sont largement appliqués à l'heure actuelle dans le cadre du « Area-Wide Pest Management Program » chez les exploitants hawaïens. L'étude approfondie de la bioécologie des mouches notamment de *B. cucurbitae* a permis de mettre en évidence chez cette espèce des caractéristiques favorables à la gestion de ces populations grâce à des plantes de bordures. En effet (1) le mouvement des jeunes mouches adultes en dehors du champs sur la végétation bordant la parcelle, (2) le mouvement des femelles gravides dans et en-dehors des champs, (3) la forte association des mouches adultes avec certaines plantes non hôtes et, (4) la densité importante de population observée en dehors des champs (Nishida & Bess, 1957), sont des observations qui ont permis de mettre en place le programme nommé « 1-2-3-4 ». Il a été appliqué entre 2000 et 2007 avec au bout 4 ans des bénéfices générés dépassant les coûts annuels de son application (McGregor, 2007), il est basé sur 4 étapes : un suivi des populations, des mesures prophylactiques, le traitement des bordures de parcelles et la destruction massive des mâles (MAT). La technique utilisée est celle du « push-pull » assisté avec le GF 120® (figure 5) (Dow Agrosience) en traitement par tâches sur les

Abréviations : Parapluie jaune avec coton imbibé de Synéis Appât® : **CJ (ci)**, Parapluie jaune avec coton imbibé d'eau : **CJ (eau)**, Parapluie jaune avec coton imbibé de Synéis Appât® et glu sur la paroi intérieure : **CJG (ci)**, Parapluie jaune avec glu sur la paroi intérieure : **CJG**, Parapluie jaune seul : **CJ**, Parapluie jaune avec Synéis Appât® et glu appliqués sur la paroi intérieure : **CJG (pi)**, Tâche de Synéis Appât sur maïs : **TM**, Assiette jaune : **AJ**, Mc Phail : **MCP**, Demi bouteille jaune verticale : **DBJV**, Parapluie jaune avec Synéis Appât® appliqué sur la paroi intérieure : **CJ (pi)**, Demi bouteille jaune horizontale : **DBJH**, Fond de bouteille transparente de 1,5 L : **FBT**, Fonds de bouteilles d'huile colorés : **FBJ**, **FBR**, **FBB**, Haut de bouteille transparente de 5L : **B5L**. (Supports détaillés en annexe).

plantes de bordures. Ce produit est composé d'un attractif alimentaire protéique qui attire les mouches sur les plantes de bordures en dehors du champ et d'un insecte naturel qui les tue.

- **Le projet GAMOUR à La Réunion**

Le CIRAD, en partenariat avec de nombreux acteurs du monde agricole et de gestion des espaces, a conçu un projet de gestion agroécologique des mouches des légumes sur l'île de La Réunion: le projet GAMOUR. Ce projet a démarré en 2009. Il est innovant à la fois par l'approche et les techniques agroécologiques transférées pour la première fois avec et chez les agriculteurs et par la motivation des nombreux partenaires à s'engager dans une nouvelle façon de penser l'agriculture, plus durable, plus saine et plus respectueuse de l'environnement. Le CIRAD, a mis au point un paquet technologique de gestion agroécologique des mouches des légumes détaillé ci-dessous: (SP5) :

S: Surveillance des populations

Quelles que soient les méthodes de gestion envisagées contre les *Dacini*, il convient d'utiliser une méthode de surveillance des populations afin de permettre aux agriculteurs de savoir à quel moment il est nécessaire d'intervenir ou encore pour vérifier l'efficacité de la gestion mise en place. Pour cela, il existe des systèmes de piégeage des mâles basé sur l'utilisation d'un attractif sexuel (ou paraphéromone*) spécifique des mâles de certaines espèces, le Cue lure®. Vis-à-vis des mouches des Cucurbitaceae de La Réunion, il n'est toutefois efficace que sur deux espèces : *B. cucurbitae* et *D. demmerezi* (Etienne, 1982). Il existe également des pièges alimentaires à base de protéines comme le Nulure, le Buminal ou la levure de *Torula*, qui en général capturent essentiellement les femelles, celles-ci ayant plus besoin de protéines pour la maturation sexuelle et le développement des oeufs (Hagen & Finney, 1950). A La Réunion, les types de pièges les plus fréquemment utilisés sont soit des pièges à base d'attractif sous forme liquide comme le piège McPhail (McPhail, 1974), soit des pièges à sec pour les attractifs sexuels conditionnés sous forme de plaquettes ou de diffuseurs comme le

Pl: La prophylaxie

Cette technique, la base d'une gestion efficace pour tous types de ravageurs, consiste en la limitation de l'inoculum par le ramassage et l'exportation des fruits piqués hors de la parcelle. La technique de l'augmentorium, mise au point depuis le début du 20^{ème} siècle dans différentes situations (forêts européennes, agriculture traditionnelle en Afrique de l'Ouest) (Deguine, communication personnelle) permet à long terme de diminuer les populations de mouches et d'augmenter les populations de leur parasitoïdes, *Psytalia fletcheri*.

P2: « Le push pull assisté »

Les procédés d'attraction-répulsion «*push-pull* » permettent dans une certaine mesure, la manipulation des populations de bioagresseurs et de leurs auxiliaires, par une adaptation des systèmes de cultures. Ils reposent sur l'utilisation d'un ensemble de stimuli modifiant le comportement des insectes. La stratégie consiste d'une part à réduire les populations des ravageurs en les repoussant pour qu'ils ne s'installent pas dans les cultures et d'autre part, à les attirer sur d'autres peuplements végétaux situés en bordures où leur concentration pourra faciliter leur éventuelle élimination. Elle s'applique à l'inverse aux organismes auxiliaires, qu'il s'agit d'attirer dans les cultures à partir de l'environnement où ils sont dispersés (Deguine et al, 2008).

Abréviations : Parapluie jaune avec coton imbibé de Synéis Appât® : **CJ (ci)**, Parapluie jaune avec coton imbibé d'eau : **CJ (eau)**, Parapluie jaune avec coton imbibé de Synéis Appât® et glu sur la paroi intérieure : **CJG (ci)**, Parapluie jaune avec glu sur la paroi intérieure : **CJG**, Parapluie jaune seul : **CJ**, Parapluie jaune avec Synéis Appât® et glu appliqués sur la paroi intérieure : **CJG (pi)**, Tâche de Synéis Appât sur maïs : **TM**, Assiette jaune : **AJ**, Mc Phail : **MCP**, Demi bouteille jaune verticale : **DBJV**, Parapluie jaune avec Synéis Appât® appliqué sur la paroi intérieure : **CJ (pi)**, Demi bouteille jaune horizontale : **DBJH**, Fond de bouteille transparente de 1,5 L : **FBT**, Fonds de bouteilles d'huile colorés : **FBJ**, **FBR**, **FBB**, Haut de bouteille transparente de 5L : **B5L**. (Supports détaillés en annexe).

La voie considérée ici associe le « push pull » à la technique « attract & kill ». Cette dernière repose sur l'utilisation « saine » d'appâts adulticides comme le Synéis Appât® sur des plantes de bordures afin d'empêcher les femelles gravides d'aller pondre.

P3: Le piégeage

Le principe du piégeage est le même que pour le suivi des populations de mouches, mais les densités de piège, donc de mâles piégés, au sein de la parcelle sont beaucoup plus importants. De ce fait, les populations de mouches sont amenées à diminuer.

P4: Parasitoïdes et prédateurs

Les « bio pesticides » utilisant les prédateurs directs ainsi que les parasitoïdes sont utilisés en agriculture biologique et en agriculture raisonnée pour limiter les populations de divers ravageurs. Pour les Mouches des Cucurbitaceae, deux parasitoïdes sont principalement utilisés. *Fopius arisanus*, originaire de la région Indo-pacifique, a été introduit à La Réunion en 2003 suite à son acclimatation avec succès sur l'île d'Hawaï en 1946. Les taux de parasitismes sont très variables mais peuvent atteindre des niveaux très importants, de l'ordre de 70 à 80 % (Pascal ROUSSE, communication grand public, 2006). Il est peu spécialisé, puisqu'il est capable de parasiter toutes les mouches présentes à La Réunion (ROUSSE, 2006). *Psytalia fletcheri*, originaire de la région Indo-pacifique a été acclimaté avec succès à La Réunion, à partir d'Hawaï à la fin des années 1990 (Quilici et al., 2004). Il est plus adapté à la lutte contre les mouches des légumes puisqu'il est plus spécifique. Néanmoins, les résultats obtenus lors des précédents lâchers ont été plutôt décevants car les pourcentages de parasitisme sont restés très faibles. Insuffisante dans la protection directe des cultures, cette méthode de lutte est intégrée au programme et ainsi, participe à la diminution partielle des populations de mouches présentes sur les parcelles.

P5: Pratiques agroécologiques de gestion des habitats

Les pratiques culturales telles que les rotations et les associations des cultures, le travail ou le non travail du sol ainsi que la mise en place de bordures autour des parcelles permettent de conserver et/ou d'augmenter la richesse faunistique et floristique des agroécosystèmes.

3 362 130 07 2

Numero 2 2005 - 2006130 distribuito in 12 fascicoli 2005 - Convegno Agrodolci 2005 - 2006130

and a new design.

Figure 7 : Femelles *B. cucurbitae* sur un plant de maïs autour d'une tâche de Synéis Appât®

1.3. Le Synéis Appât®

1.3.1. Ce qu'on en connaît

- Composition du Synéis Appât®

Le Synéis Appât® (figure 5) est composé de spinosad (0,02%), la matière active, ainsi que de protéines de maïs, de sucres et de composés stimulant l'appétence des insectes cible comme l'acétate d'ammonium. Le spinosad est synthétisé par une bactérie du sol *Saccharopolyspora spinosa*, c'est un mélange de spinosines A et D. La composition du Synéis Appât® lui permet d'associer une action d'attraction de l'insecte avec un effet insecticide. Le Synéis Appât® est un homologue du GF 120, produit utilisé à Hawaii dans le cadre d'un vaste programme de protection des cultures (HAWPM).

NB : Pour la suite, le Synéis Appât® sera appelé « SA ».

- Mode d'action

Le spinosad agit principalement par ingestion mais il peut aussi avoir une action par contact sur certains insectes. Lorsqu'il est absorbé, le spinosad atteint le système nerveux central et agit au niveau d'un site spécifique du récepteur d'acétylcholine, distinct de celui des autres insecticides. Il dépolarise les neurones qui commandent les muscles moteurs. Cela provoque une hyperexcitation nerveuse (Salgado 1998) qui est suivie par une paralysie des muscles. Le ravageur ne peut plus s'alimenter et meurt. Quand le processus est engagé, il n'est pas réversible.

- Efficacité

L'homologue du Synéis Appât®, le GF 120, a été utilisé avec succès à Hawaii contre *B. cucurbitae* et *B. dorsalis* dans le cadre du « HAWPM program ». Il est communément appliqué sur la végétation bordant la parcelle pour contrôler les populations de mouches des légumes (Prokopy et al. 2004). En effet, en étudiant le comportement des mouches il a été montré que les attractifs protéinés ont leur efficacité qui se voit augmentée lorsqu'ils sont appliqués sur la végétation environnante de la parcelle cultivée (Nishida and Bess 1950, 1957). Il a été démontré que le GF 120, associé à des plantes pièges (figure 6) était efficace pour prévenir l'entrée de femelles *B.cucurbitae* âgées de 4 semaines sur une parcelle de concombres (Prokopy et al. 2003). Cependant, dans la pratique des variations importantes d'efficacité sont observées entre les agriculteurs (Vargas, 2009). La densité de plantation et l'espèce des plantes pièges choisies peuvent modifier l'efficacité du GF 120 (Vargas 2009). Lorsque ces bordures sont denses (135 cm) la technique est plus efficace qu'avec des bordures plus minces de l'ordre de 30 cm à 90 cm par exemple.

Les symptômes liés à l'ingestion apparaissent immédiatement (paralysie de l'insecte, perte de la fonction de vol), la mortalité en revanche apparaît quelques heures après. En grandes cages le GF 120 peut être efficace jusqu'à 14 jours (Mangan 2005).

- Effets collatéraux

Bien que le GF 120 soit considéré comme une bonne alternative aux insecticides à large spectre en raison de son faible impact sur l'environnement et de sa non-toxicité pour les mammifères, les avis sont partagés sur ses effets collatéraux, notamment sur les ennemis naturels des mouches des légumes. Les études se multiplient à ce sujet. Williams et al. (2003), ont créé une banque de données regroupant toutes les informations publiées, sur l'effet du GF 120 sur les prédateurs et les parasitoïdes des mouches des légumes. Aux vues

des publications, les hyménoptères parasitoïdes sont plus susceptibles au spinosad que les prédateurs. Leur durée de vie et leur capacité de reproduction en sont affectées.

D'autres impacts néfastes ont été répertoriés. Wang (2006), a observé une forte sensibilité au GF 120 de 3 espèces de Tephritidae introduites à Hawaii pour lutter contre certaines adventices. La fiche signalétique du Synéis Appât® note un effet létal du produit sur les abeilles en pulvérisation directe.

L'utilisation du spinosad doit être par conséquent soigneusement contrôlée, lorsqu'il est appliqué dans un plan de protection nécessitant la conservation de parasitoïdes, ou de pollinisateurs.

1.3.2. Rôle dans un plan de protection agroécologique

Le Synéis Appât® possède plusieurs caractéristiques qui lui donnent une place privilégiée dans la gestion agroécologique des mouches des légumes. Il est très actif en faible quantité, il n'est donc pas nécessaire de le pulvériser sur toute la parcelle. Il est généralement utilisé en association avec des plantes pièges qui concentrent préalablement la population de mouches à l'extérieur de la parcelle (Deguine et al. 2009). Son application se fait par « tâches » espacées de 5 mètres environ (Prokopy et al. 2003) et doit être renouvelée au minimum toutes les semaines, du fait de la perte d'efficacité qui apparaît avec le vieillissement du produit (Vargas et al. 2008). Ainsi la quantité de produit utilisée par les agriculteurs est plus faible qu'avec les insecticides à large spectre comme le malathion.

Au niveau environnemental, son mode d'action spécifique au niveau du système nerveux des mouches limiterait l'apparition de résistances chez les insectes (Dow Agro). Des études réalisées sur la toxicité résiduelle du produit, ont montrées qu'il se dégrade rapidement au champ (3 à 7 jours de toxicité post application), réduisant ainsi les risques environnementaux (Williams 2003).

1.4. Cahier des charges de la technique recherchée : un support d'application adapté aux contraintes de la Réunion

1.4.1. Application du Synéis Appât® sur un support

L'étude du comportement des mouches contribue fortement à la mise au point de nouvelles méthodes de lutte qui permettent d'agir durant les étapes clés du développement de l'insecte. Elles constitueraient ainsi une bonne alternative à l'application des insecticides à large spectre (Shelton & Badenes-Perez, 2006 ; Cook et al., 2007).

La méthode « attract-and-kill » est basée sur ce principe et consiste à associer un signal visuel ou olfactif à une substance mortelle, comme le Synéis Appât®, pour concentrer les insectes ravageurs dans une zone réduite et augmenter l'effet létal du produit (Foster and Harris, 1997 ; Vincent et al., 2003). En ce qui concerne l'utilisation du Synéis Appât® dans la méthode « attract-and-kill », la majorité des études à ce jour portent sur son application sur des bordures de plantes refuges.

Cependant des supports synthétiques ont également été développés, notamment pour tenter de faire face aux problèmes de lessivage du produit, ou augmenter sa durée de vie par exemple. Heath et al. (2009), ont mis au point un type de support cylindrique constitué de paraffine verte (stimuli visuel), mélangée à du spinosad pour lutter contre *Anastrophe suspens* (Loewi). Vargas et al. (2008,2009) ont testé dans le cadre d'un programme de lutte contre la mouche orientale des fruits, *Bactrocera dorsalis* (Hendel), et la mouche du melon, *B. cucurbitae* (Coquillett), des supports adoptant la méthode « attract-and-kill » sur lesquels du spinosad peut être pulvérisé. Dans l'étude la plus récente, Piñero (2009) présente des supports adaptés aux papayers qui imitent les feuilles par leur forme d'assiette et protègent le GF 120 de la pluie.

Abréviations : Parapluie jaune avec coton imbibé de Synéis Appât® : **CJ (ci)**, Parapluie jaune avec coton imbibé d'eau : **CJ (eau)**, Parapluie jaune avec coton imbibé de Synéis Appât® et glu sur la paroi intérieure : **CJG (ci)**, Parapluie jaune avec glu sur la paroi intérieure : **CJG**, Parapluie jaune seul : **CJ**, Parapluie jaune avec Synéis Appât® et glu appliqués sur la paroi intérieure : **CJG (pi)**, Tâche de Synéis Appât sur maïs : **TM**, Assiette jaune : **AJ**, Mc Phail : **MCP**, Demi bouteille jaune verticale : **DBJV**, Parapluie jaune avec Synéis Appât® appliqué sur la paroi intérieure : **CJ (pi)**, Demi bouteille jaune horizontale : **DBJH**, Fond de bouteille transparente de 1,5 L : **FBT**, Fonds de bouteilles d'huile colorés : **FBJ**, **FBR**, **FBB**, Haut de bouteille transparente de 5L : **B5L**. (Supports détaillés en annexe).

1.4.2. Contraintes imposées pour La Réunion

- Efficacité

Dans le programme de protection intégrée à grande échelle mis en place à Hawaï, le GF 120, s'est révélé être un outil très efficace. De plus de récentes études ont montré que les 3 espèces de mouche des légumes présentes à la Réunion sont sensibles au Synéis Appât® en grandes cages, lorsqu'il est appliqué sur des plantes pièges (Deguine, non publié). L'efficacité du produit a donc été confirmée à plusieurs reprises, pour une application sur du matériel végétal. Un différent mode d'application pourrait modifier les propriétés du produit et son action sur les mouches.

L'effet létal du Synéis Appât® appliqué sur le support qui sera retenu à la fin de notre étude devra par conséquent être vérifié.

- Résistance à la pluie

Le climat de la Réunion impose une forte contrainte liée aux pluviométries élevées. Les produits phytosanitaires pulvérisés et notamment le Synéis Appât® subissent un fort lessivage, réduisant ainsi leur période d'efficacité. Par conséquent les agriculteurs doivent augmenter leur fréquence d'application, ce qui génère un coût supplémentaire tant au niveau de la main d'œuvre et du temps de travail que de la quantité de produit nécessaire à une protection optimale de la parcelle.

De ce fait, le nouveau support doit pouvoir fournir une protection maximale du produit contre les précipitations. Cette caractéristique apparaît comme essentielle dans une zone tropicale subissant des influences cycloniques.

- Application à toutes les cultures

L'île de la Réunion est caractérisée par une grande diversité de productions agricoles. La présence des 3 espèces de mouches de légumes constitue une menace pour 16 plantes hôtes appartenant à la famille des Cucurbitae (Vayssières 2002). Ces cultures horticoles de plein champ doivent pouvoir être protégées contre ces ravageurs.

Certaines productions particulières de la Réunion comme le choucho, posent des problèmes plus spécifiques dans l'application des méthodes de protection contre les mouches des légumes. En effet le système de treille ne permet pas l'implantation de plantes pièges de bordure, comme le maïs, et le lieu de repos des mouches se situe directement sous la treille tout au long de la journée et non dans la végétation environnante (Vayssières, 1999) comme les autres espèces de Cucurbitacées cultivées sur l'île.



Figure 8 : Cahier des charges du nouveau support pour le Synéis Appât®

L'adaptabilité à tous les types de système de culture sera une caractéristique indispensable du nouveau support.

- Adapté au niveau logistique

Par souci de gain de temps, le support retenu devra être facile d'utilisation. Les agriculteurs doivent pouvoir faire entrer cette nouvelle méthode d'application dans leurs pratiques agricoles sans difficultés. La mise en place sera facilitée pour améliorer la popularisation du support et son entrée dans le paquet proposé par le programme GAMOUR. L'approvisionnement est également un point important. Les matériaux utilisés devront être non spécifiques, car si le support est dépendant d'exportations cela pourrait poser un problème d'obtention et un coût supplémentaire. La durabilité dans le temps sera une caractéristique non négligeable pour limiter la fréquence de renouvellement du support. La durée de vie du support, c'est-à-dire la période pendant laquelle le support associé au Synéis Appât® reste efficace contre les mouches doit être maximisée.

Il est nécessaire que le support soit facile d'utilisation et d'approvisionnement et qu'il ait une durée de vie au champ assez longue.

2. Tests en grandes cages

2.1. Matériel et Méthodes

L'ensemble des études est effectué selon la même méthodologie. Celle-ci est présentée ci-dessous.

- Choix du support de référence

Le support de référence d'application du Synéis Appât® est un « parapluie jaune » appelé aussi « umbrella trap ». Il est utilisé pour réaliser tous les tests en grandes cages. Il est composé d'un cône en plastique jaune (12 cm de diamètre, 12 cm de hauteur et 1 mm d'épaisseur) et d'une attache en plastique (10 cm de longueur dont 2,5 à l'intérieur du parapluie) permettant d'accrocher le support tout en fixant un coton (4 cm x 3 cm x 0,5 cm) à l'intérieur, sur lequel le Synéis Appât® (dilué à 1 :5 soit une concentration de 40mg/L de spinosad sauf précision) sera appliqué. Ce support est produit industriellement par l'entreprise taiwanaise Agentec Technology et a déjà été utilisé dans le cadre du « Area-Wide Control of the Oriental Fruit fly and Melon fly » à Taiwan pour le suivi des populations de mouches des légumes. L'utilisation d'un support de référence manufacturé, présente un avantage sur le plan logistique.

Ce support de référence est comparé par la suite à plusieurs autres types de supports qui sont décrits en annexe. Par souci de lisibilité les supports sont cités dans le texte de façon abrégée. La signification des abréviations est détaillée en note de bas de page.

- Dispositif expérimental

Le dispositif de grandes cages est un bon compromis entre les essais en laboratoire et les essais sur le terrain pour tester l'attractivité d'un appât protéiné (Rousse 2005).

Les expériences sont menées dans des grandes cages de 2.5m de hauteur et de 3m de diamètre situées à l'extérieur sur la station expérimentale du CIRAD. Elles sont composées de tubes PVC emboîtés qui constituent l'armature et d'une toile ombrière (amber HDPE screen cage, Synthetic Industries, Gainesville, USA).

Les mouches sont lâchées dans les grandes cages à partir de petites cages (30 cm x 30 cm x 30 cm).

- Matériel biologique

Les expériences en grandes cages sont principalement conduites avec des mouches de l'espèce *Bactrocera cucurbitae*. Cette espèce sert de référence dans cette étude. Elles sont issues de l'élevage du CIRAD, mené en conditions contrôlées (25 ± 1 °C, 70 ±10% d'humidité relative, photopériode de 12h). Leur alimentation est composée de sucre de canne cristallisé et d'une source de protéine, de l'hydrolysate de levures (ICN Biomedicals, Inc., Aurora, OH, USA). Une éponge constamment humidifiée (disposée à travers le couvercle d'un récipient rempli d'eau), permet leur approvisionnement en eau dans la cage. L'élevage est renouvelé au sein du CIRAD depuis de nombreuses générations. Des courgettes sont posées dans les cages pour la ponte, les larves sortent puis forment des pupes qui sont placées dans du sable. Après tamisage, la boîte de pupes est disposée dans une nouvelle cage (30 cm x 30 cm x 30 cm) pour l'éclosion des nouveaux individus. Dans chaque expérience, des mouches du même lot sont utilisées pour disposer d'une cohorte

Abréviations : Parapluie jaune avec coton imbibé de Synéis Appât® : **CJ (ci)**, Parapluie jaune avec coton imbibé d'eau : **CJ (eau)**, Parapluie jaune avec coton imbibé de Synéis Appât® et glu sur la paroi intérieure : **CJG (ci)**, Parapluie jaune avec glu sur la paroi intérieure : **CJG**, Parapluie jaune seul : **CJ**, Parapluie jaune avec Synéis Appât® et glu appliqués sur la paroi intérieure : **CJG (pi)**, Tâche de Synéis Appât sur maïs : **TM**, Assiette jaune : **AJ**, Mc Phail : **MCP**, Demi bouteille jaune verticale : **DBJV**, Parapluie jaune avec Synéis Appât® appliqué sur la paroi intérieure : **CJ (pi)**, Demi bouteille jaune horizontale : **DBJH**, Fond de bouteille transparente de 1,5 L : **FBT**, Fonds de bouteilles d'huile colorés : **FBJ**, **FBR**, **FBB**, Haut de bouteille transparente de 5L : **B5L**. (Supports détaillés en annexe).

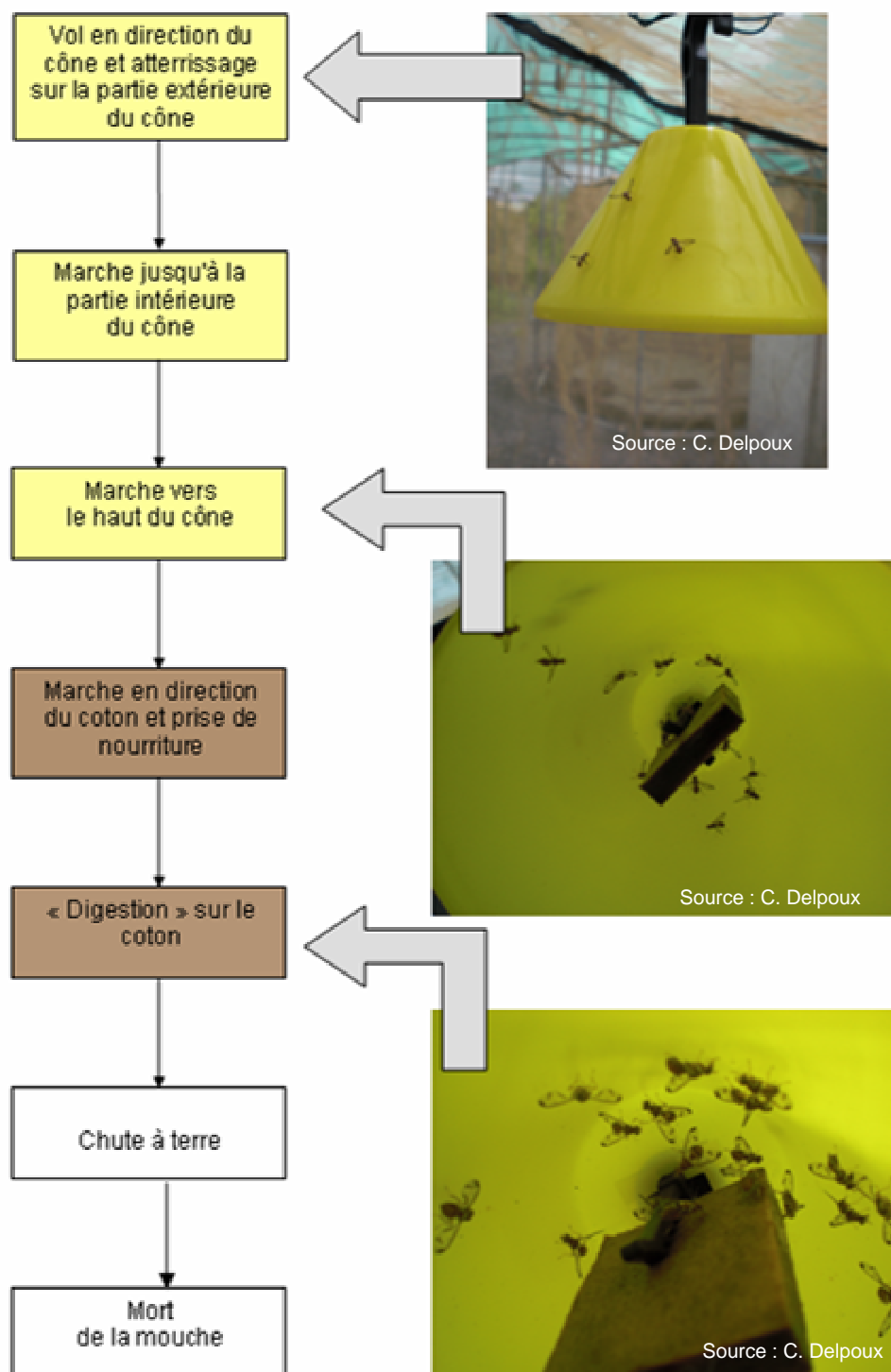


Figure 9 : Comportement type des adultes de l'espèce *B.cucurbitae* en présence du support d'application de référence (CJ(ci)). Observation pendant 15 minutes de 50 mouches.

homogène. L'âge des individus varie de 3 jours à 3 mois en fonction de l'expérience et de la disponibilité.

- Analyse statistique

Tous les graphiques et les tests statistiques effectués au seuil de 5% sont réalisés à partir du logiciel R (version 2.10.1, R Development Core Team, 2009, Vienne, Autriche).

On considère p , la probabilité pour qu'une mouche soit tuée par le dispositif. Pour expliquer l'effet de chaque modalité d'expérience sur p , un modèle linéaire généralisé (GLM) complet est réalisé. Ce modèle est fondé sur le nombre Y de mouches tuées par le Synéis Appât en fin d'expérience qui suit une loi binomiale $\beta(n,p)$, avec n le nombre de mouches testées. La variance de Y binomiale $V(Y)$ vaut : $\phi.n.p.(1-p)$ avec $\phi=1$.

La significativité des différents effets est vérifiée par un test de rapport de vraisemblance basé sur le test du χ^2 . En cas de significativité d'un effet (effets principaux ou effet d'interaction), un test de comparaison multiple fondé sur la méthode de Tukey, est effectué. Dans les résultats, un test est dit significatif si la p -value est comprise entre 0.05 et 0.01, hautement significatif si la p -value est comprise entre 0.01 et 0.001 et très hautement significatif pour une p -value inférieure à 0.001. La p -value est la probabilité que la statistique de test soit supérieure à la valeur observée sous l'hypothèse nulle.

2.2. Comportement des mouches en présence du support d'application de référence

- Matériel et Méthodes

L'objectif est d'observer et de comprendre le comportement des mouches en présence du support de référence (CJ(ci)) sur lequel on a appliqué du SA. Le comportement d'approche de 50 mouches est observé en grande cage pendant 15 min après leur lâcher. Les phases de leur comportement moyen sont décrites ci-dessous. La même expérience est ensuite réalisée parallèlement (dans les mêmes conditions) sans SA, avec un support CJ(eau).

Dans les deux expériences, le nombre de mouches sur le support est estimé dès la mise en place de celui-ci dans la cage puis ensuite 2 heures, 5 heures et 6 heures après.

- Résultats

L'atterrissage est la première phase d'approche (figure 9). Dès sa mise en place, la mouche se pose à l'extérieur du support de référence. Elle se déplace ensuite vers la paroi intérieure en marchant. Une fois dans cette zone elle marche jusqu'en haut du cône, parfois après une phase d'attente ou de vol entre les parois du support. La troisième phase consiste en l'approche du coton imbibé de SA. La mouche descend par l'accroche en plastique vers le coton. Elle se nourrit du produit. Puis elle reste sur le coton jusqu'à ce que le produit agisse, c'est ici la phase de « digestion ». Elle devient de plus en plus statique à partir de ce moment là. Pour finir elle tombe au sol après avoir perdu la fonction de vol, et meurt.

Au premier abord, la mouche réagit de la même manière en présence du parapluie avec coton imbibé d'eau : la phase d'approche du support est identique. La mouche, une fois à l'intérieur, se dirige vers le haut du cône. En revanche la phase de « digestion » sur le coton n'apparaît pas. La mouche ne reste qu'un court instant sur le coton.

Tableau 2 : Suivi du nombre de mouches sur les deux types de supports. Quatre observations sur 50 mouches *B.Cucurbitae*, en grande cage (\approx correspond à des approximations).

Temps après application	0h	2h	5h	6h
Nombre de mouches sur CJ(eau)	≈ 20	≈ 20	≈ 20	≈ 20
Nombre de mouches sur CJ(cj)	≈ 30	≈ 10	5	2

Le tableau 1 présente l'évolution du nombre de mouches sur les deux types de support au cours du temps. Le nombre de mouches sur le CJ(eau) reste constant au cours du temps alors que pour le support CJ(ci) il subit une diminution rapide dès 2 heures après application du SA. Néanmoins l'attraction immédiate semble légèrement plus forte pour CJ(ci) (environ 30 mouches attirées contre 20 pour CJ(eau)).

- Interprétation

L'approche similaire des mouches face aux deux supports montre que la première attraction du support est due au parapluie jaune en lui-même. Une étude (Yee *et al* 2005) a montré que les appâts protéinés à base de spinosad n'attirent pas les mouches à longue distance, comme les phéromones. Pour une plus grande efficacité, le Synéis Appât® nécessite donc d'être en association avec un élément qui attire et concentre la population de mouches (support attractif ou plantes pièges).

Les observations réalisées ici sont uniquement qualitatives, il est donc difficile de déterminer si une fois posées sur le parapluie les mouches sont plus attirées par un coton imbibé de Synéis Appât® plutôt qu'un coton imbibé d'eau. Mais le temps qu'elles passent à s'alimenter sur le Synéis Appât® est plus important que sur le témoin. La perte de mobilité des mouches dans le cas du support CJ(ci) est bien la preuve de l'efficacité du produit associé au parapluie jaune.

L'approche du coton par les mouches est conditionnée par le parapluie jaune lui-même. C'est le premier élément avec lequel elles sont en contact. L'attractivité du Synéis Appât® (phase d'alimentation) semble venir dans un deuxième temps pour le support de référence.

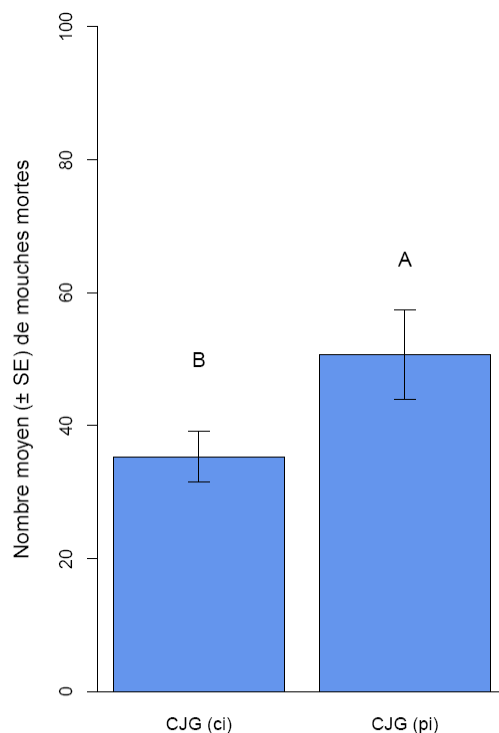


Figure 10 : Mortalité mesurée, 7 heures après application du Synéis Appât® en fonction du mode d'application. C.J.G.(ci) correspond à l'application du Synéis Appât® sur le coton et C.J.G(pi) sur la paroi interne du parapluie jaune. Observation de 100 mouches de l'espèce *Bactrocera Cucurbitae* par cage (3 répétitions). Les barres avec des lettres différentes indiquent des différences significatives entre les modes d'applications, selon une « anova ».

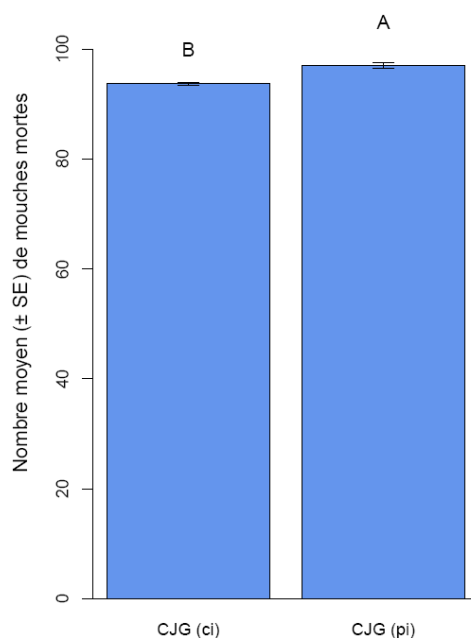


Figure 11 : Mortalité estimée à partir des survivants, 29 heures après application du Synéis Appât® en fonction du mode d'application. C.J.G.(ci) correspond à l'application du Synéis Appât® sur le coton et C.J.G(pi) sur la paroi interne du parapluie jaune. Observation de 100 mouches de l'espèce *Bactrocera Cucurbitae* par cage (3 répétitions). Les barres avec des lettres différentes indiquent des différences significatives entre les modes d'applications, selon une « anova ».

2.3. Mise à l'épreuve du support de référence

2.3.1. Modalités d'application du Synéis Appât® dans le parapluie jaune

Nous voulons ici déterminer l'influence du mode d'application du SA sur l'efficacité du support

- Dispositif expérimental

Dans chaque grande cage, 100 mouches de l'espèce *B. cucurbitae* sont lâchées (50 mâles et 50 femelles). A l'intérieur de chacune d'elles, un support CJG(ci), et un support CJG(pi) sont placés à environ 1m50 du sol en situation de choix. Trois répétitions sont réalisées. Les mouches mortes sont comptées à 10h00, 11h45, 14h00, 16h00 et le nombre de survivants est enregistré le lendemain à 16h00. Lors du comptage on distingue les mouches collées mortes, les mouches collées vivantes et les mouches mortes à terre engluées ou non. Les différentes classes sont regroupées lors de la saisie des données sous R en tant que mouches « attirées » par le dispositif. Les mouches déjà comptées ne sont pas enlevées de la cage, le comptage se fait de façon cumulée. La mortalité après 29h est estimée à partir du taux de survie mesuré car la mesure directe des mouches mortes est biaisée après un certain temps par les fourmis qui emportent les cadavres de mouches.

- Résultats

La figure 10 représente la mortalité 7 heures après application du Synéis Appât® pour chaque modalité d'application. Il existe une différence significative de la mortalité entre les deux modalités d'application du Synéis Appât® (ANOVA $P = 0.0001438$). Lorsque le produit est appliqué sur la paroi, la mortalité des mouches est plus élevée (CJG(pi) : 51% et CJG(ci) : 35%), l'efficacité du dispositif augmente.

La figure 11 montre la mortalité estimée à partir des mesures de survie, 29 heures après application du Synéis Appât® selon les modalités d'application. La différence significative entre les deux mortalités subsiste (ANOVA $P = 0.05045$) mais se réduit fortement (C+S : 94%, G+S : 97%). Quelque soit son mode d'application, le Synéis Appât® est efficace pour tuer les mouches de l'espèce *B. cucurbitae* en grandes cages. Cependant l'application sur la paroi interne semble rendre le support efficace plus rapidement.

- Interprétation

Lorsque le produit est appliqué sur la paroi interne du support, il est en contact direct avec l'élément attractif « primaire » et le plus accessible pour les mouches ; de plus, la surface d'application devient plus importante par rapport au coton imbibé. Ces caractéristiques permettent d'augmenter la fréquence de contact mouches/ Synéis Appât® et par conséquent la mortalité et l'efficacité du dispositif.

L'application du SA sur la paroi interne du parapluie jaune s'avère plus efficace que l'imprégnation du coton à la même dose de SA.

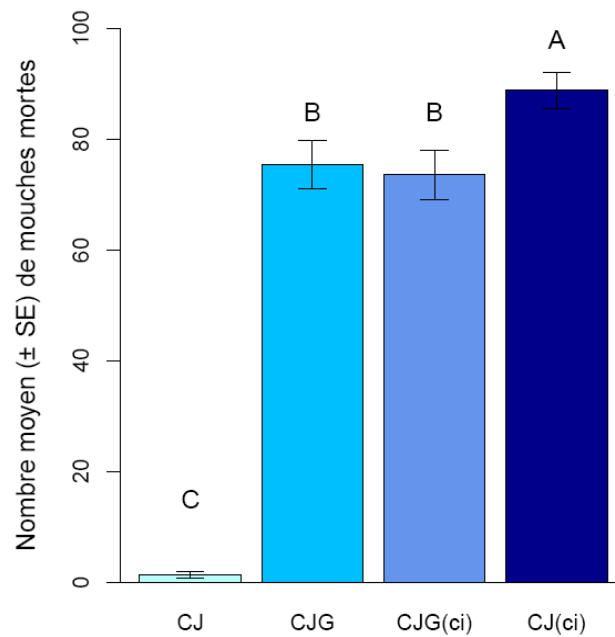


Figure 12 : Mortalité en fonction des différents dispositifs utilisés, 7 heures après application du Synéis Appât. CJ est le témoin (parapluie jaune seul), CJG représente le parapluie enduit de glue, CJ(ci) le parapluie avec un coton imbibé de Synéis Appât® et CJG(ci) le parapluie enduit de glue et associé à un coton imbibé de Synéis Appât®. Observation de 100 mouches de l'espèce *B. Cucurbitae* par cage (7 répétitions). Les barres avec des lettres différentes indiquent des différences significatives entre les supports, selon un «Test de Tukey HSD».

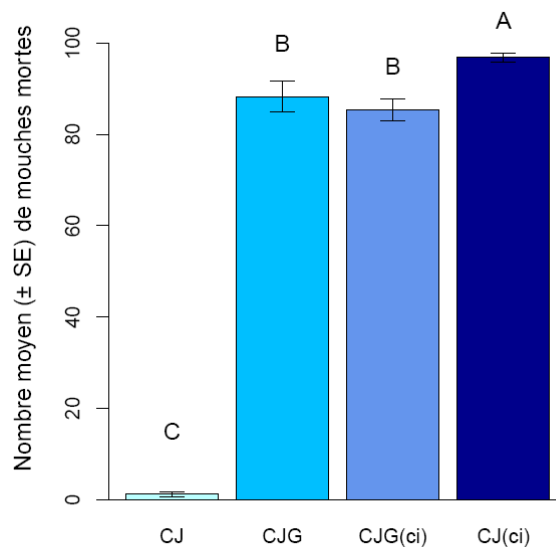


Figure 13 : Mortalité estimés à partir des mesures de survie, 22 heures après application du Synéis Appât®. CJ est le témoin (parapluie jaune seul), CJG représente le parapluie enduit de glue, CJ(ci) le parapluie avec un coton imbibé de Synéis Appât® et CJG(ci) le parapluie enduit de glue et associé à un coton imbibé de Synéis Appât®. Observation de 100 mouches de l'espèce *B. Cucurbitae* par cage (8 répétitions). Les barres avec des lettres différentes indiquent des différences significatives entre les supports, selon un « Test de Tukey HSD ».

2.3.2. Part des différents éléments du parapluie dans l'attractivité

On souhaite vérifier ici l'effet du Synéis Appât® sur la mortalité des mouches lorsqu'il est associé à un parapluie jaune. Pour cela on compare la mortalité obtenue grâce à différents types de supports : CJ (témoin), CJG, CJG(ci), CJ(ci).

- Dispositif expérimental

Dans chaque cage, 100 mouches de l'espèce *B.cucurbitae* sont lâchées (50 mâles et 50 femelles). Un des supports est suspendu à environ 1m50 du sol par cage. Des coupelles remplies d'eau sont disposées à l'aplomb de chaque support pour limiter les pertes de mouches mortes dues aux fourmis. Huit répétitions sont effectuées. Les mouches mortes sont comptées toutes les heures. L'expérience est lancée à 10h00, le premier comptage est effectué à 11h00, et le dernier comptage à 17h00. Pour les supports enduits de glue on compte les mouches collées sur le parapluie et celles engluées au sol (on considère qu'elles sont mortes car elles ont été attirées par le dispositif). Lors de la saisie des données sous R les catégories « mortes engluées au sol », « mortes non engluées au sol », « vivante collées sur le parapluie » et « mortes collées » sur le parapluie sont regroupées sous la catégorie « attirées » par le dispositif. Le nombre de mouches survivantes est compté à 16h00 et à 8h00 le lendemain matin.

- Résultats

Comparaison des taux de mortalité obtenus avec les différents dispositifs

La figure 12 présente la mortalité pour chaque support utilisé, 7 heures après application du SA. Trois répétitions ont été enlevées, car leurs mortalités ont été sous-estimées du fait de la présence des fourmis (annexe). La figure 13 représente la mortalité estimée à partir des mesures de survie, 22 heures après application du Synéis Appât®, pour chaque support. Pour CJ le taux de survie est calculé à partir de la mortalité 7h après l'application du Synéis Appât®.

Il existe des différences significatives entre les différents supports (ANOVA $P < 1e-04$). Le témoin (CJ) confirme pour les deux mesures (figure 12 et 13) l'absence de mortalité naturelle pendant la durée de l'expérience (1.25% de mortalité).

Le support CJG est responsable d'un taux de mortalité de 75.4%. Il est beaucoup plus élevé que celui de la cage témoin. Cela traduit une certaine efficacité du support. L'attractivité de CJ(ci) est vérifiée avec 88.9% de mortalité au bout de 7 heures. La mortalité avec CJG est plus faible qu'avec CJ(ci). Le Synéis Appât® augmente considérablement l'efficacité du support.

Un test de Tukey permet de montrer que les supports CJG et CJG(ci) ne présentent pas de différences significatives au niveau de la mortalité ($P = 0.845$). L'effet du Synéis Appât® ne semble pas intervenir dans la mortalité obtenue avec CJG(ci).

Les mêmes tendances que pour la figure 13 sont retrouvées 22 heures après application du SA (Tukey $P = 0.306$ entre CJG et CJG(ci), et $P = 0.001$ entre les autres dispositifs). Elles confirment les différences d'efficacité des dispositifs dans le temps, jusque 22 heures après l'application du Synéis Appât®.

Abréviations : Parapluie jaune avec coton imbibé de Synéis Appât® : **CJ (ci)**, Parapluie jaune avec coton imbibé d'eau : **CJ (eau)**, Parapluie jaune avec coton imbibé de Synéis Appât® et glu sur la paroi intérieure : **CJG (ci)**, Parapluie jaune avec glu sur la paroi intérieure : **CJG**, Parapluie jaune seul : **CJ**, Parapluie jaune avec Synéis Appât® et glu appliqués sur la paroi intérieure : **CJG (pi)**, Tâche de Synéis Appât sur maïs : **TM**, Assiette jaune : **AJ**, Mc Phail : **MCP**, Demi bouteille jaune verticale : **DBJV**, Parapluie jaune avec Synéis Appât® appliqué sur la paroi intérieure : **CJ (pi)**, Demi bouteille jaune horizontale : **DBJH**, Fond de bouteille transparente de 1,5 L : **FBT**, Fonds de bouteilles d'huile colorés : **FBJ**, **FBR**, **FBB**, Haut de bouteille transparente de 5L : **B5L**. (Supports détaillés en annexe).

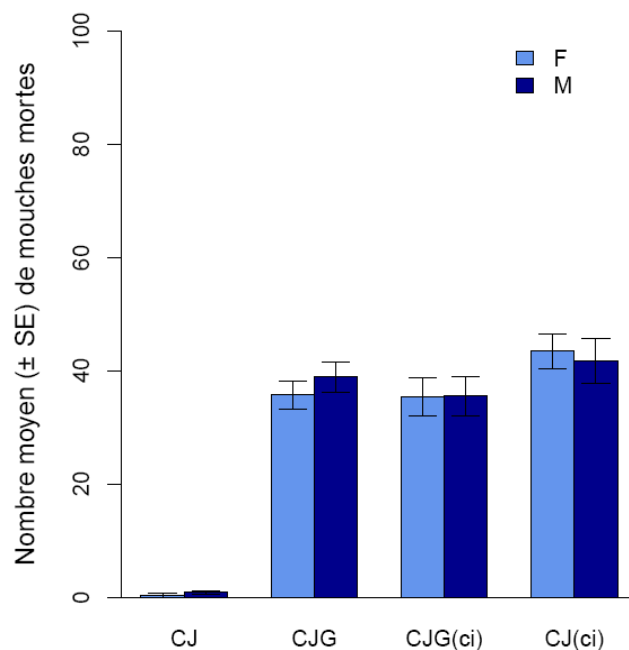


Figure 14 : Mortalité 7 heures après application du Synéis Appât®, selon le sexe des mouches. F représente les femelles et M les mâles. CJ est le témoin (parapluie jaune seul), CJG représente le parapluie enduit de glue, CJG(ci) le parapluie avec un coton imbibé de Synéis Appât® et CJG(ci) le parapluie enduit de glue et associé à un coton imbibé de Synéis Appât®. Observation de 100 mouches (50 mâles et 50 femelles) de l'espèce *B. cucurbitae* par cage (8 répétitions)

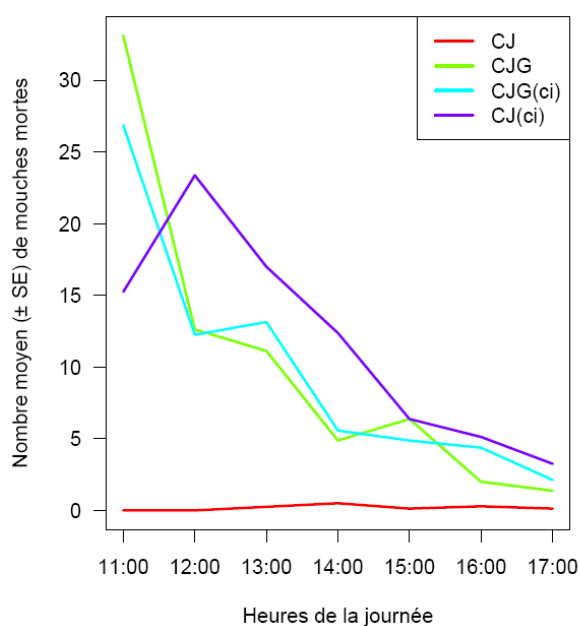


Figure 15 : Evolution du nombre de mouches mortes en fonction des heures de la journée. CJ est le témoin (parapluie jaune seul), CJG représente le parapluie enduit de glue, CJG(ci) le parapluie avec un coton imbibé de Synéis Appât® et CJG(ci) le parapluie enduit de glue et associé à un coton imbibé de Synéis Appât®. Observation de 100 mouches de l'espèce *B. Cucurbitae* par cage (8 répétitions)

Comparaison de la mortalité par sexe

La figure 14 représente la mortalité 7 heures après application du Synéis Appât® selon le sexe des mouches. Pour toutes les modalités d'expérience il n'y a pas de différences significatives de la mortalité entre les sexes (ANOVA $P=0.1976$).

Evolution de la mortalité au cours des 7 premières heures

La figure 15 présente l'évolution du nombre de mouches mortes en fonction des heures de la journée. La mortalité due à CJ suit une évolution stable au cours du temps, proche de 0. Pour les autres courbes on observe deux modèles d'évolution. En effet, la mortalité avec les supports CJG et CJG(ci) décroît au cours du temps, alors que pour CJ(ci) la mortalité suit une évolution en cloche avec un pic de mortalité aux environs de 2h après l'application du Synéis Appât®.

- Interprétation

Une hypothèse peut être avancée pour expliquer les taux de mortalité similaires entre CJG et CJG(ci). En effet comme nous l'avons vu plus haut les mouches ne se posent que très rarement directement sur le coton. L'approche du coton se fait par déplacement sur la paroi interne du parapluie. Or celle-ci est engluée pour CJG et CJG(ci). Les mouches n'ont donc pas le temps d'arriver sur le coton et meurent engluées ce qui explique les taux de mortalité similaires entre les deux dispositifs. La mortalité de CJG et CJG(ci) traduit donc l'attractivité du parapluie jaune en lui-même. L'évolution identique de la mortalité dans le temps causée par CJG et CJG(ci), confirme le mode d'action similaire de ces supports.

La forte mortalité obtenue avec CJ(ci) montre quant à elle l'efficacité du Synéis Appât® sur les mouches de l'espèce *B.cucurbitae*. Dans ce cas là, les mouches sont attirées de suite par le dispositif mais ne meurent que deux heures après (figure 15), le temps que le produit soit ingéré et agisse. Le Synéis Appât® semble avoir un effet létal décalé dans le temps.

Le support de référence est efficace sur les mouches *B. cucurbitae* en grandes cages. Les résultats confirment le rôle clé du parapluie jaune au niveau de l'attractivité du support.

Abréviations : Parapluie jaune avec coton imbibé de Synéis Appât® : **CJ (ci)**, Parapluie jaune avec coton imbibé d'eau : **CJ (eau)**, Parapluie jaune avec coton imbibé de Synéis Appât® et glu sur la paroi intérieure : **CJG (ci)**, Parapluie jaune avec glu sur la paroi intérieure : **CJG**, Parapluie jaune seul : **CJ**, Parapluie jaune avec Synéis Appât® et glu appliqués sur la paroi intérieure : **CJG (pi)**, Tâche de Synéis Appât sur maïs : **TM**, Assiette jaune : **AJ**, Mc Phail : **MCP**, Demi bouteille jaune verticale : **DBJV**, Parapluie jaune avec Synéis Appât® appliqué sur la paroi intérieure : **CJ (pi)**, Demi bouteille jaune horizontale : **DBJH**, Fond de bouteille transparente de 1,5 L : **FBT**, Fonds de bouteilles d'huile colorés : **FBJ**, **FBR**, **FBB**, Haut de bouteille transparente de 5L : **B5L**. (Supports détaillés en annexe).

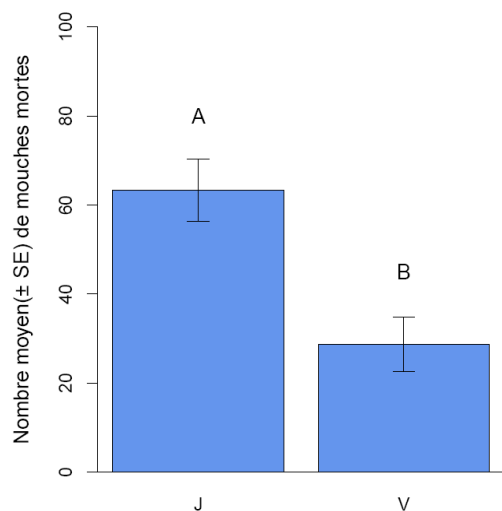


Figure 16 : Mortalité mesurée 7 heures après application du Synéis Appât® pour chaque classe d'âge. Observation de 100 mouches de l'espèce *B. Cucurbitae* par cage (8 répétitions). J représente des lots de mouches âgés de 5 jours et V des lots âgés de plus de 2 mois. Les barres avec des lettres différentes indiquent des différences significatives entre les classes d'âge, selon une « anova ».

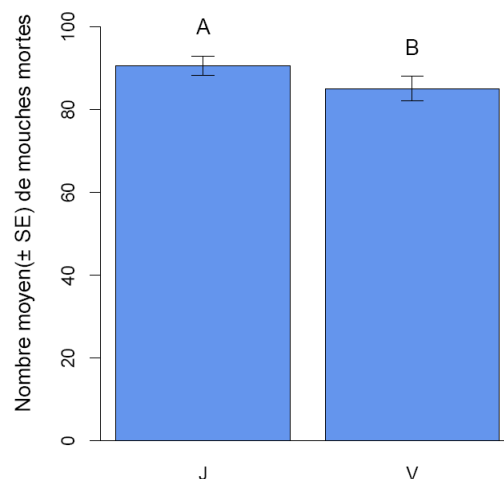


Figure 17 : Mortalité estimée à partir des vivants, 22 heures après application du Synéis Appât®, pour chaque classe d'âge. Observation de 100 mouches de l'espèce *B. Cucurbitae* par cage (8 répétitions). J représente des lots de mouches âgés de 5 jours et V des lots âgés de plus de 2 mois. Les barres avec des lettres différentes indiquent des différences significatives entre les classes d'âge, selon une « anova ».

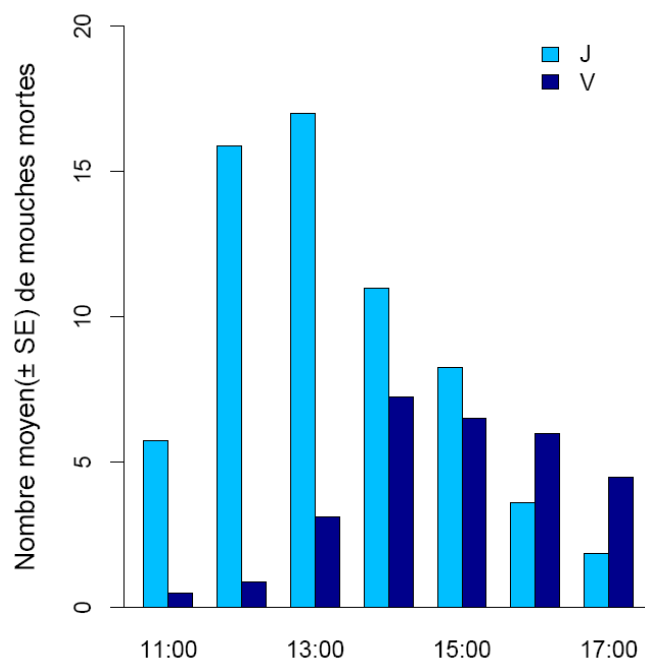


Figure 18 : Evolution de la mortalité les 7 premières heures après application du Synéis Appât® pour chaque classe d'âge. Observation de 100 mouches de l'espèce *B. Cucurbitae* par cage (8 répétitions). J représente des lots de mouches âgés de 5 jours et V des lots âgés de plus de 2 mois.

2.3.3. Test d'efficacité selon l'âge des mouches de l'espèce *B. cucurbitae*

On veut tester l'effet du Synéis Appât® sur différentes classes d'âge afin de voir s'il existe des différences d'efficacité du produit en fonction du stade de développement des mouches *B. cucurbitae*

- Matériel et méthodes

Deux classes d'âge ont été testées pour l'expérience : des mouches âgées de 2 mois qui ont atteint la maturité sexuelle et des mouches immatures âgées de 5 jours. Dans chaque grande cage, 100 mouches d'une des classes d'âge sont lâchées (50 mâles et 50 femelles) et un support CJ(ci) est suspendu à environ 1m50 du sol. On réalise 8 répétitions pour chaque modalité d'expérience. Les comptages sont réalisés toutes les heures afin d'éviter la disparition des mouches mortes tombées au sol et emportées par les fourmis. L'expérience est lancée à 10h00, le premier comptage est réalisé à 11h00, et le dernier comptage à 17h00. Les survivants sont comptés à 16h00 et à 8h00 le lendemain matin de l'expérience.

- Résultats

La figure 16 représente la mortalité selon l'âge des mouches, 7 heures après application du Synéis Appât®. De manière générale on observe un effet âge (ANOVA $P < 2 \times 10^{-16}$). Le support est plus efficace sur les jeunes mouches (63% de mortalité). Pour les mouches âgées, la mortalité atteint 29% soit moins de la moitié de celle des mouches immatures. La figure 17 présente les mortalités estimées à partir des mesures de survie, 22 heures après application du Synéis Appât®. La différence significative des mortalités persiste (ANOVA $P = 0.0007173$) mais baisse fortement (91% de mortalité pour les jeunes mouches et 85% pour les mouches matures). L'attraction du support reste plus forte et plus rapide pour les jeunes mouches jusqu'à 22 heures après application du produit. Cependant, à la vue de l'évolution du taux de survie, on peut penser que sur le long terme en grande cage, l'efficacité du support est équivalente sur les différentes classes d'âge. La figure 18 représente l'évolution de la mortalité les 7 premières heures après application du Synéis Appât®. Les courbes d'évolution de la mortalité montrent une nette différence de l'effet attractif du Synéis Appât® sur les jeunes mouches et les mouches mûres. Les mouches sexuellement immatures sont attirées plus rapidement (pic de mortalité 2h après application du produit) que les mouches âgées (pic de mortalité 4h après application).

- Interprétation

On observe une différence de comportement en présence du support entre les jeunes mouches et les mouches sexuellement matures. Ce phénomène est peut être dû à une différence de sensibilité à l'attractif protéiné contenu dans le Synéis Appât®. En effet, d'après Perez (2007), les jeunes mouches nécessiteraient une plus grande quantité de protéines pour la maturation sexuelle, ce qui les rendrait plus sensibles au produit.

La vitesse d'attraction et l'efficacité du support sont plus importantes en présence de mouches de l'espèce *B. cucurbitae* sexuellement immatures. Celles-ci seraient plus sensibles au Synéis Appât® que les mouches ayant accompli leur développement sexuel complet.

Abréviations : Parapluie jaune avec coton imbibé de Synéis Appât® : **CJ (ci)**, Parapluie jaune avec coton imbibé d'eau : **CJ (eau)**, Parapluie jaune avec coton imbibé de Synéis Appât® et glu sur la paroi intérieure : **CJG (ci)**, Parapluie jaune avec glu sur la paroi intérieure : **CJG**, Parapluie jaune seul : **CJ**, Parapluie jaune avec Synéis Appât® et glu appliqués sur la paroi intérieure : **CJG (pi)**, Tâche de Synéis Appât sur maïs : **TM**, Assiette jaune : **AJ**, Mc Phail : **MCP**, Demi bouteille jaune verticale : **DBJV**, Parapluie jaune avec Synéis Appât® appliqué sur la paroi intérieure : **CJ (pi)**, Demi bouteille jaune horizontale : **DBJH**, Fond de bouteille transparente de 1,5 L : **FBT**, Fonds de bouteilles d'huile colorés : **FBJ**, **FBR**, **FBB**, Haut de bouteille transparente de 5L : **B5L**. (Supports détaillés en annexe).

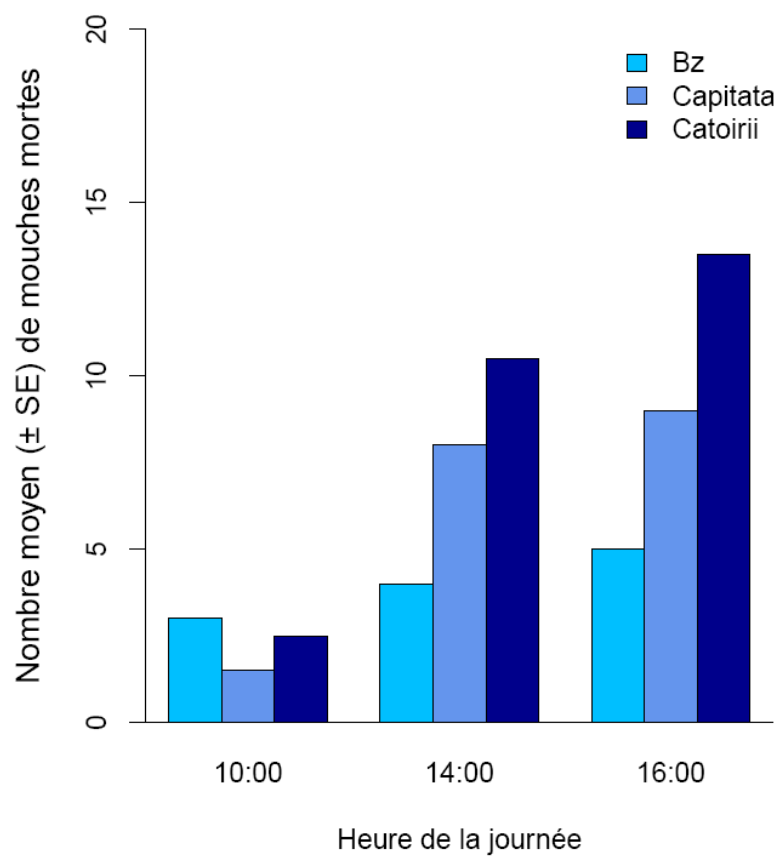


Figure 19 : Nombre de mouches mortes en fonction des heures de la journée pour 3 espèces de mouches des fruits. Bz représente les mouches de l'espèce *Bactrocera zonata*, *capitata* représente les mouches de l'espèce *Ceratitis capitata* et *catoirii* celles de l'espèce *Ceratitis catoirii*. Observation de 150 mouches (50 de chaque espèce) par cage (2 répétitions).

2.3.4. Test d'efficacité sur 3 espèces de mouches des fruits

L'efficacité du Synéis Appât® est testée ici sur 3 espèces de mouches des fruits.

- Protocole expérimental

Le support de référence pour les essais en grandes cages à été testé sur 3 espèces de mouches des fruits : *Bactrocera zonata*, *Ceratitis capitata*, et *Ceratitis catovirii*. Dans chaque grande cage 50 mouches (25 mâles et 25 femelles) de chaque espèce sont lâchées, et un support de type CJG(ci) est suspendu dans la cage à environ 1m50 du sol. Les mouches engluées (au sol et sur le parapluie) sont comptées 3 fois dans la journée à partir de 1 heure après mise en place de l'expérience (à 10h00, 14h00 et 16h00). Elles seront comptabilisées comme « mouches attirées par le dispositif » lors de la saisie des données.

- Résultats

La figure 19 présente le nombre moyen de mouches mortes en fonction des heures de la journée pour chaque espèce testée. On note que 7 heures après application du Synéis Appât®, 10% des *B. zonata*, 18% des *C. capitata* et 27% des *C. catovirii* sont en moyenne mortes. Le support semble présenter une certaine attractivité pour les mouches des fruits (*C. catovirii* étant l'espèce la plus sensible au dispositif). Les pourcentages d'attractivité restent néanmoins assez faible comparés aux expériences réalisées sur l'espèce *B. cucurbitae*.

Abréviations : Parapluie jaune avec coton imbibé de Synéis Appât® : **CJ (ci)**, Parapluie jaune avec coton imbibé d'eau : **CJ (eau)**, Parapluie jaune avec coton imbibé de Synéis Appât® et glu sur la paroi intérieure : **CJG (ci)**, Parapluie jaune avec glu sur la paroi intérieure : **CJG**, Parapluie jaune seul : **CJ**, Parapluie jaune avec Synéis Appât® et glu appliqués sur la paroi intérieure : **CJG (pi)**, Tâche de Synéis Appât sur maïs : **TM**, Assiette jaune : **AJ**, Mc Phail : **MCP**, Demi bouteille jaune verticale : **DBJV**, Parapluie jaune avec Synéis Appât® appliqué sur la paroi intérieure : **CJ (pi)**, Demi bouteille jaune horizontale : **DBJH**, Fond de bouteille transparente de 1,5 L : **FBT**, Fonds de bouteilles d'huile colorés : **FBJ**, **FBR**, **FBB**, Haut de bouteille transparente de 5L : **B5L**. (Supports détaillés en annexe).

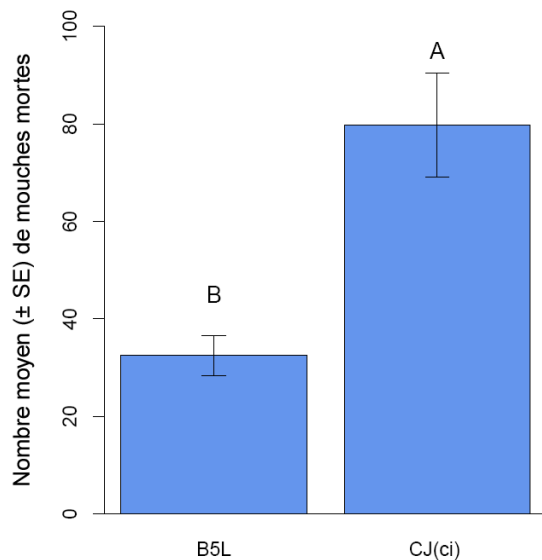


Figure 20 : Mortalité mesurée 7 heures après l'application du Synéis Appât®. Observation de 100 mouches de l'espèce *B. cucurbitae* par cage (8 répétitions). B5L représente le support « haut de bouteille de 5L) et CJ(ci) le parapluie jaune avec un coton imbibé de Synéis Appât®. Les barres avec des lettres différentes indiquent des différences significatives entre les supports, selon une « anova ».

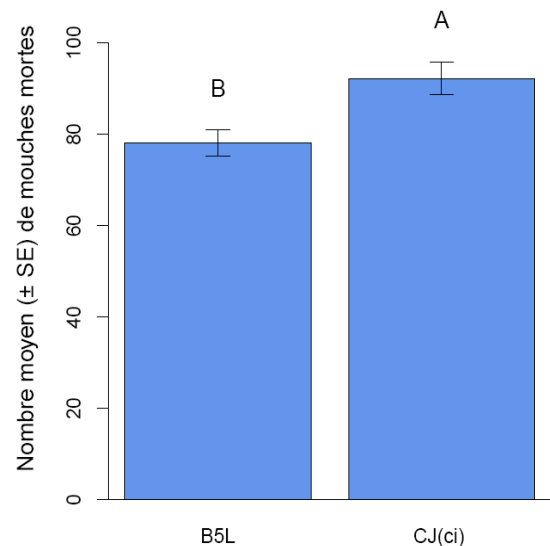


Figure 21 : Mortalité estimée à partir des survivants 22 heures après l'application du Synéis Appât®. Observation de 100 mouches de l'espèce *B. cucurbitae* par cage (8 répétitions). B5L représente le support « haut de bouteille de 5L) et CJ(ci) le parapluie jaune avec un coton imbibé de Synéis Appât®. Les barres avec des lettres différentes indiquent des différences significatives entre les supports, selon une « anova ».

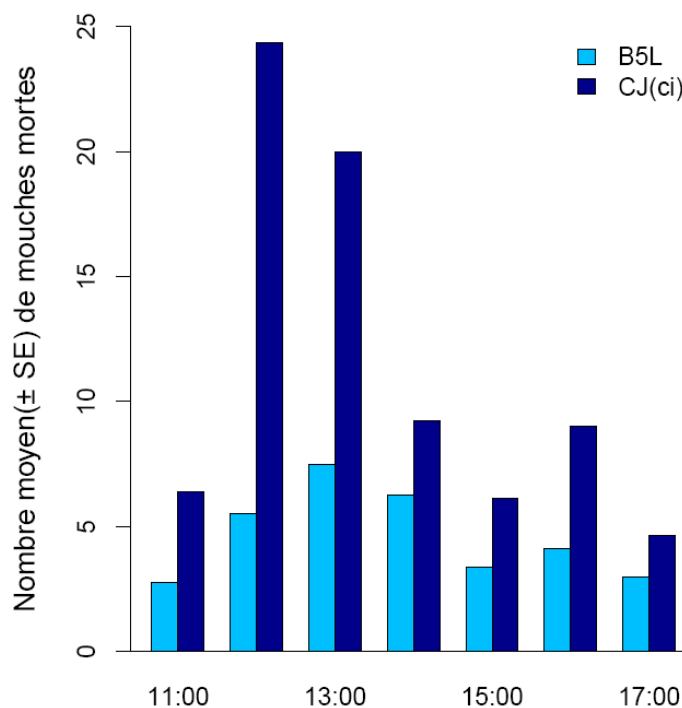


Figure 22 : Evolution de la mortalité les 7 premières heures après application du Synéis Appât® pour chaque type de support. Observation de 100 mouches de l'espèce *B. Cucurbitae* par cage (8 répétitions). B5L représente le support « haut de bouteille de 5L) et CJ(ci) le parapluie jaune avec un coton imbibé de Synéis Appât®.

2.4. Mise au point d'un support optimal

2.4.1. Type de support

- Matériel et méthodes

Deux types de supports sont comparés: B5L et CJ(ci). Dans chaque cage 100 mouches sont lâchées (50 mâles et 50 femelles). Le support est disposé dans la cage à environ 1m50 du sol. Des cuvettes en plastique remplies d'eau sont placées sous les supports pour limiter la disparition des mouches mortes tombées à terre et emportées par les fourmis. L'expérience est lancée à 10h00, les mouches mortes sont comptées toutes les heures au sol à partir de 11h00 jusqu'à 17h00 (chaque mouche comptée est enlevée de la cage). La survie est évaluée à 16h00 et le lendemain à 8h00. Huit répétitions sont réalisées pour chaque support.

- Résultats

La figure 20 représente la mortalité pour chaque support 7 heures après l'application du Synéis Appât®. La figure 21 donne la mortalité estimée à partir des mesures de survie 22 heures après l'application du Synéis Appât® selon le type de support.

La différence de mortalité entre les deux types de supports est significative (ANOVA $P = 0.0001438$). On observe 80% de mortalité avec CJ(ci) au bout de 7 heures, alors qu'avec le support B5L on obtient 33% de mortalité soit moins de la moitié.

Au bout de 22 heures la différence significative subsiste (ANOVA $P = 5.782e-16$) mais se réduit fortement (78% de mortalité pour B5L et 92% pour CJ(ci)). Le taux de mortalité dans la nuit pour B5L augmente considérablement.

La figure 22 représente l'évolution de la mortalité au cours des 7 premières heures qui suivent l'application du Synéis Appât®. Les deux courbes suivent une évolution similaire. Seul les pics de mortalité sont décalés dans le temps. Pour le support CJ(ci) il se situe 2 heures après application du produit alors que pour B5L il est aux environs de 3 heures après application. Ces tendances identiques tendent à affirmer que les supports fonctionnent de la même manière au niveau de l'attraction et de l'effet létal, mais avec une forte différence d'efficacité qui se traduit par des effectifs de mortalité très faible pour le support B5L.

- Interprétation

Les caractéristiques techniques des deux types de supports sont assez similaires, seul le type de paroi est différent (transparent ou jaune opaque). Un support transparent semble être moins attractif pour les mouches de l'espèce *B. cucurbitae* qu'un support jaune opaque. CJ(ci) est plus efficace dans l'attractivité première donc les mouches sont en contact plus rapidement avec le produit. La mortalité avec ce support est par conséquent plus rapide.

La mortalité reste plus élevée pour CJ(ci) que B5L, dans le temps. Le type de support du Synéis Appât® joue un rôle important dans le phénomène d'attraction primaire des mouches et permet d'augmenter l'efficacité du produit.

Abréviations : Parapluie jaune avec coton imbibé de Synéis Appât® : **CJ (ci)**, Parapluie jaune avec coton imbibé d'eau : **CJ (eau)**, Parapluie jaune avec coton imbibé de Synéis Appât® et glu sur la paroi intérieure : **CJG (ci)**, Parapluie jaune avec glu sur la paroi intérieure : **CJG**, Parapluie jaune seul : **CJ**, Parapluie jaune avec Synéis Appât® et glu appliqués sur la paroi intérieure : **CJG (pi)**, Tâche de Synéis Appât sur maïs : **TM**, Assiette jaune : **AJ**, Mc Phail : **MCP**, Demi bouteille jaune verticale : **DBJV**, Parapluie jaune avec Synéis Appât® appliqué sur la paroi intérieure : **CJ (pi)**, Demi bouteille jaune horizontale : **DBJH**, Fond de bouteille transparente de 1,5 L : **FBT**, Fonds de bouteilles d'huile colorés : **FBJ**, **FBR**, **FBF**, Haut de bouteille transparente de 5L : **B5L**. (Supports détaillés en annexe).



Figure 23 : Dispositif expérimental en grande cage pour tester l'effet des couleurs sur l'attractivité du dispositif

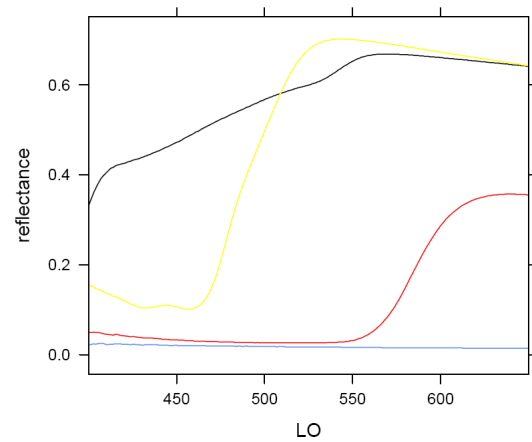


Figure 24 : Spectres de réflectance dans le visible des différents supports de couleur. La courbe noire représente la bouteille blanche, la jaune représente la bouteille jaune, la rouge la bouteille rouge et la bleue la bouteille transparente.

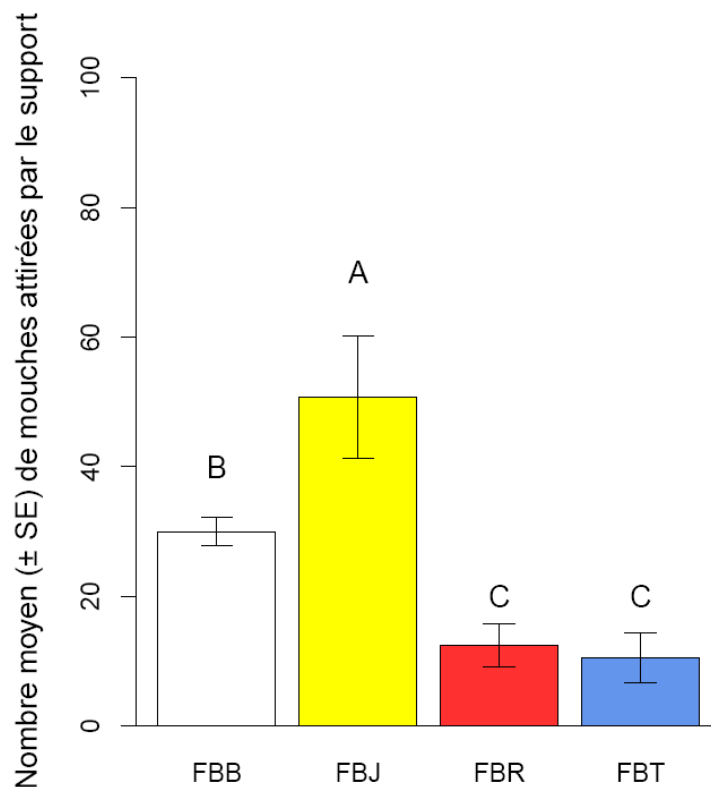


Figure 25 : Attractivité des supports de couleur, 6 heures après leur mise en place. FBB représente le fond de bouteille blanc, FBJ le fond de bouteille jaune, FBR le fond de bouteille rouge et FBT le transparent. Observation réalisée sur 200 mouches de l'espèce *B. cucurbitae* par cage (4 répétitions) Les barres avec des lettres différentes indiquent des différences significatives entre les supports, selon un « Test de Tukey HSD »

2.4.2. Couleurs

On cherche à montrer ici la différence d'attraction des supports en fonction de leur couleur.

- Matériel et méthodes

Le spectre de réflectance dans le visible des supports de couleur utilisés dans l'expérience qui suit (FBB, FBJ, FBR et FBT) est mesuré à l'aide d'un spectromètre (LabSpec® 5000/5100 Portable Vis/NIR Spectrometer, ASD Inc., Boulder, CO).

Différents supports de couleurs (blanc, jaune rouge et transparent) sont comparés ici (respectivement FBB, FBJ, FBR et FBT). Dans chaque cage un support de chaque couleur est suspendu à environ 1m50 du sol (figure 23). Ils sont disposés en ligne à 50 cm d'intervalle. L'ordre des couleurs est randomisé dans chaque cage. 200 mouches sont lâchées (100 mâles et 100 femelles) dans chaque cage. Des coupelles d'eau sont disposées à l'aplomb de chaque support pour limiter la disparition des mouches mortes tombées à terre et emportées par les fourmis. Quatre répétitions sont effectuées. Les mouches mortes sont comptées 6 heures après la mise en place des supports dans la cage. On compte les mouches engluées sur les supports et celles engluées tombées dans la coupelle d'eau. Lors de la saisie des données sous R les catégories « engluées au sol », et « engluées sur le fond de bouteille » sont regroupées sous la catégorie « attirées » par le support.

- Résultats

On peut voir sur le spectre de réflectance dans le visible des différents supports (figure 24), que c'est la bouteille jaune qui atteint les valeurs de réflectance les plus élevées (0.702 pour 594 nm), puis la blanche (0.668 pour 619 nm). La bouteille rouge réfléchit deux fois moins la lumière que la bouteille jaune : elle atteint comme valeur maximale de réflectance 0.287 pour une longueur d'onde de 650 nm. La bouteille transparente conserve des valeurs très faibles de réflectance pour toutes les longueurs d'onde (au maximum 0.034 pour 410 nm).

La figure 25, présente le taux d'attractivité des bouteilles en fonction de leurs couleurs, 6 heures après mise en place du dispositif. Une différence d'attraction nette apparaît entre les couleurs (ANOVA $P < 2.2e-16$). Le jaune est la couleur la plus attractive (50.8% d'attractivité) pour les mouches de l'espèce *B.cucurbitae* puis le blanc (30% d'attractivité) et enfin le rouge et la bouteille transparente (respectivement 12.5% et 10.5% d'attractivité, différence non significative Tukey $P=0.81$).

- Interprétation

Ces résultats sont en accord avec une étude réalisée sur les réponses des mouches de l'espèce *B. Cucurbitae* aux stimuli visuels. Les couleurs qui ont une haute réflectance, comme le jaune, ont une forte attractivité sur les mouches *B. cucurbitae* (Piñero et al., 2006).

Il semble exister une corrélation entre la réflectance du support et son attractivité sur les mouches de l'espèce *B. cucurbitae*. Il semblerait que les supports à haute réflectance soient les plus attractifs

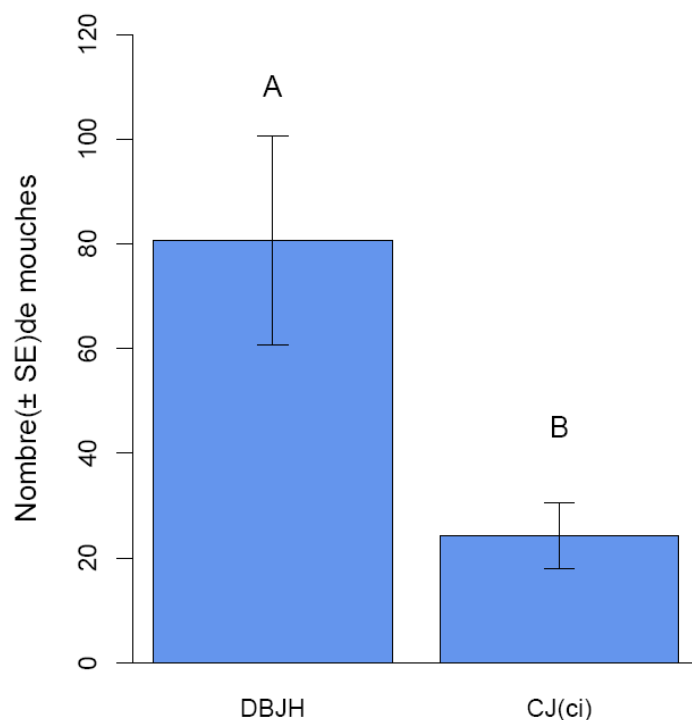


Figure 26 : Nombre cumulé de mouches observées s'alimentant avec du Synéis Appât® dans les deux supports. 30 observations (2 heures et demi de temps d'observation au total) sur 100 mouches lâchées (6 répétitions). DBJH représente la bouteille jaune et CJ(ci) le parapluie jaune contenant un coton imbibé de Synéis Appât®. Les barres avec des lettres différentes indiquent des différences significatives entre les supports, selon une « anova ».

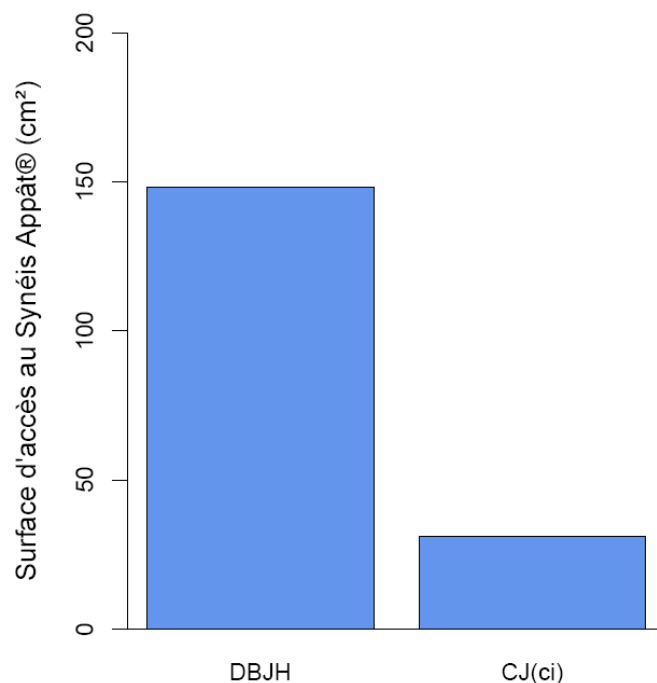


Figure 27 : Surface d'application du Synéis Appât® pour les deux types de support. DBJH représente la demi bouteille jaune horizontale et CJ(ci) le support de référence : le parapluie jaune contenant un coton imbibé de Synéis Appât®.

Abréviations : Parapluie jaune avec coton imbibé de Synéis Appât® : **CJ (ci)**, Parapluie jaune avec coton imbibé d'eau : **CJ (eau)**, Parapluie jaune avec coton imbibé de Synéis Appât® et glu sur la paroi intérieure : **CJG (ci)**, Parapluie jaune avec glu sur la paroi intérieure : **CJG**, Parapluie jaune seul : **CJ**, Parapluie jaune avec Synéis Appât® et glu appliqués sur la paroi intérieure : **CJG (pi)**, Tâche de Synéis Appât sur maïs : **TM**, Assiette jaune : **AJ**, Mc Phail : **MCP**, Demi bouteille jaune verticale : **DBJV**, Parapluie jaune avec Synéis Appât® appliqué sur la paroi intérieure : **CJ (pi)**, Demi bouteille jaune horizontale : **DBJH**, Fond de bouteille transparente de 1,5 L : **FBT**, Fonds de bouteilles d'huile colorés : **FBJ**, **FBR**, **FBB**, Haut de bouteille transparente de 5L : **B5L**. (Supports détaillés en annexe).

2.4.3. Prise de nourriture sur 2 supports

Le support DBJH est comparé au support de référence pour montrer la relation entre la fréquence d'alimentation des mouches et le mode d'application.

- Matériel et Méthodes

On lâche 100 mouches *B. Cucurbitae* dans une grande cage (50 mâles et 50 femelles). Les deux supports (DBJH et CJ (ci)) sont mis en situation de choix diamétralement opposé dans la cage. Ils sont disposés de façon randomisée dans chacune des cages et sont suspendus à 1m50 du sol environ. On enregistre seulement ici le paramètre d'ingestion (nombre de mouches qui ingèrent le SA pendant l'observation) et non la mortalité (qu'on suppose corrélée).

La surface d'application du SA est calculée pour chaque support :

$$S_{CI(ci)} = (L \times l + L \times e + l \times e) \times 2$$

$$S_{DBJH} = (3.14 \times D \times H) / 2$$

Avec L la longueur du coton, l sa largeur et e son épaisseur, et D et H respectivement le diamètre de la bouteille jaune et sa hauteur.

- Résultats

La figure 26 représente le nombre cumulé de mouches qui ingèrent du Synéis Appât® au cours des 30 observations. Une différence significative apparaît entre la bouteille jaune et le support d'application de référence (ANOVA $P < 2.2e-16$). On observe un plus grand nombre de mouches qui se nourrissent du produit au niveau du support DBJH (81 mouches contre 24 pour CJ(ci)).

La figure 27 montre la surface d'application du SA pour chacun des deux types de supports. DBJH présente une surface d'application beaucoup plus élevée que le support de référence (148 cm² contre 38 cm² pour CJ(ci)). La surface d'application peut être assimilée à une surface potentielle de contact entre les mouches et le produit.

Un plus grand nombre de mouche s'alimente sur support DBJH que sur le support de référence CJ(ci).

Il semble y avoir une corrélation entre la fréquence d'alimentation des mouches et la surface d'application de Synéis Appât®. Plus la surface d'accès au Synéis Appât® est importante et plus les mouches sont facilement en contact avec le produit et s'alimentent.

Comportement 1 : supports concernés AJ, CJ (pi), et TM



Comportement 2 : supports concernés DBJV, CJ, CJ(cl) et MCP

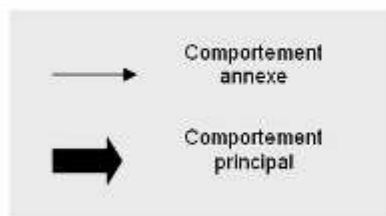


Figure 28 : : Les différents comportements adoptés par les mouches des légumes, toutes espèces confondues, face aux différents supports testés. Observation de 30 minutes sur une bordure de maïs

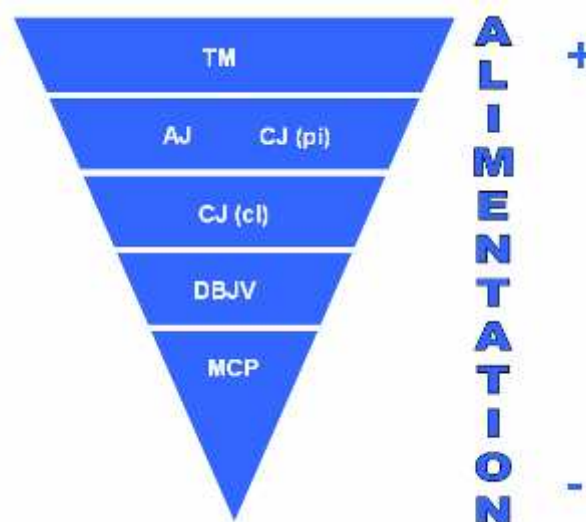


Figure 29 : Classement des différents supports pour la proportion de mouches qui s'alimentent du Synéis Appât®. Observation de 30 minutes sur une bordure de maïs.

Abréviations : Parapluie jaune avec coton imbibé de Synéis Appât® : **CJ (ci)**, Parapluie jaune avec coton imbibé d'eau : **CJ (eau)**, Parapluie jaune avec coton imbibé de Synéis Appât® et glu sur la paroi intérieure : **CJG (ci)**, Parapluie jaune avec glu sur la paroi intérieure : **CJG**, Parapluie jaune seul : **CJ**, Parapluie jaune avec Synéis Appât® et glu appliqués sur la paroi intérieure : **CJG (pi)**, Tâche de Synéis Appât sur maïs : **TM**, Assiette jaune : **AJ**, Mc Phail : **MCP**, Demi bouteille jaune verticale : **DBJV**, Parapluie jaune avec Synéis Appât® appliqué sur la paroi intérieure : **CJ (pi)**, Demi bouteille jaune horizontale : **DBJH**, Fond de bouteille transparente de 1,5 L : **FBT**, Fonds de bouteilles d'huile colorés : **FBJ**, **FBR**, **FBB**, Haut de bouteille transparente de 5L : **B5L**. (Supports détaillés en annexe).

3. Tests au champ

3.1. *Etude comportementale*

On cherche ici à mettre en évidence le comportement des mouches sauvages au champ en présence de différents supports.

- Matériel et méthodes

Une observation préliminaire a été réalisée le 03/03/2010 sur une parcelle de cucurbitées entourée de bordures de maïs à Petite Ile. Sept supports ont été testés : CJ, CJ (pi), CJ (ci), AJ, TM, MCP et DBJV. Les supports sont placés sur une des 4 bordures à 1 m d'intervalle et 2 m de hauteur. Des observations qualitatives sont réalisées pendant 30 minutes. Les différents comportements adoptés par les mouches en présence des supports et la proportion de mouches attirées qui s'alimentent du SA sont évalués et comparés.

- Résultats et interprétation

Comportement des mouches face aux différents dispositifs

Deux groupes de comportement se dégagent (figure 28). Le premier se compose de quatre phases : atterrissage, stationnement ou déplacement jusqu'au produit, ingestion du produit, et enfin envol. Les supports concernés sont CJ (pi), AJ et TM. La plupart des mouches qui se posent sur ces supports se nourrissent de SA (de 75 à 100% selon les dispositifs). Le contact entre l'insecte et le produit est rapide ce qui améliore considérablement l'efficacité du dispositif. Pour le deuxième groupe, les mouches, adoptent un comportement qui ne fait pas intervenir la phase d'alimentation. Les dispositifs deviennent de simples supports pour elles. Cela concerne DBJV, MCP, CJ, et CJ (ci).

Proportion d'individus qui se nourrit du Synéis Appât®:

La proportion des mouches qui se nourrit de SA (c'est-à-dire le nombre de mouches qui s'alimentent sur le nombre de mouches attirées sur le dispositif) est présenté sur la figure 29. TM présente la proportion la plus forte. Ensuite AJ et CJ (pi). Seuls quelques individus parviennent et donc se nourrissent au niveau du coton imbibé de SA. DBJV et le MCP présentent la plus basse proportion d'individus qui se nourrissent du SA.

Il semble donc que l'alimentation sur du Synéis Appât® soit directement corrélée à la surface d'accès du support : les supports présentant une surface d'application du produit importante et/ou qui ont une forme évasée présentent les meilleurs résultats.

Inconvénients de certains dispositifs

Le SA semble bien tenir sur l'assiette jaune, mais sa surface importante présente un inconvénient dans son utilisation au champ. En effet quand il y a du vent, le dispositif bouge beaucoup, diminuant ainsi son effet attractif. L'efficacité de la tâche a déjà été prouvée mais face à la pluie le SA n'est pas protégé il est directement soumis aux contraintes climatiques (notamment le lessivage par des précipitations).

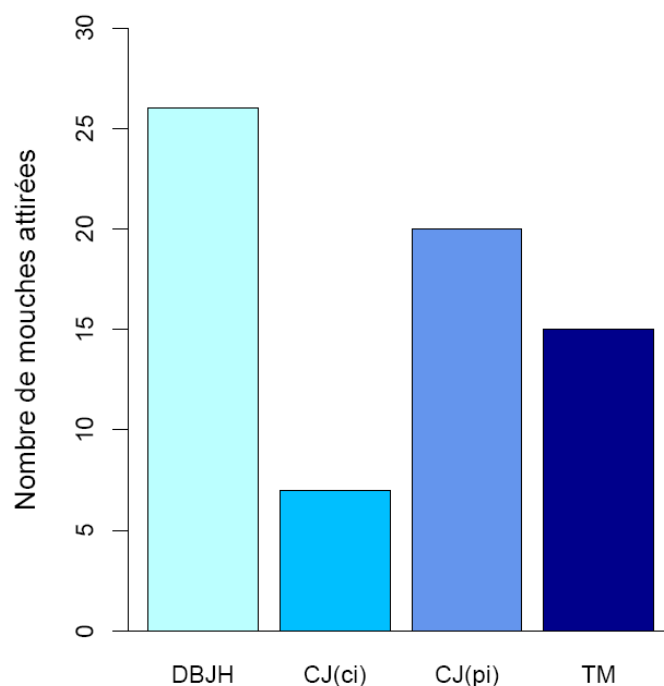


Figure 30 : Nombre total de mouches des légumes, toutes espèces confondues, observées en 3h pour quatre dispositifs de chaque catégorie. DBJH représente la bouteille jaune, CJ(ci) le parapluie jaune associé à un coton imbibé de Synéis Appât®, CJ(pi) le parapluie jaune avec le Synéis Appât® appliqué sur la paroi et TM la tâche de Synéis Appât sur le maïs

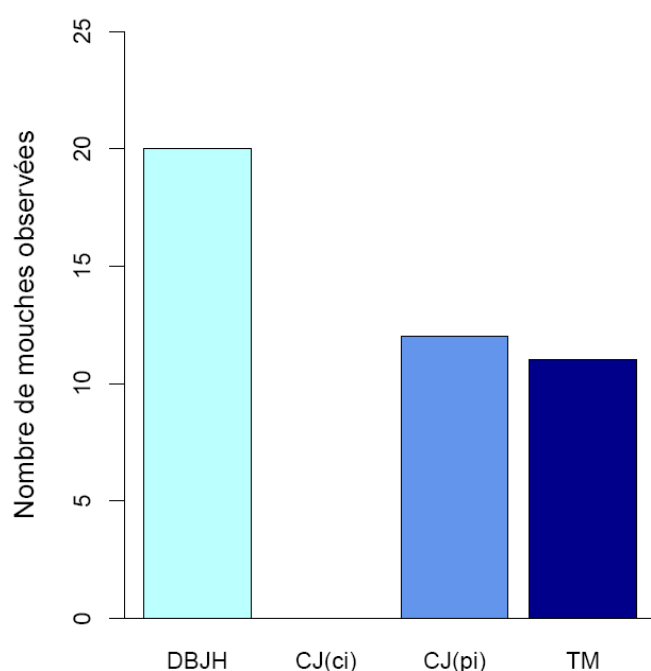


Figure 31 : Nombre de mouches se nourrissant du Synéis Appât pour chaque support. Total des mouches observées s'alimentant pour quatre supports de chaque catégorie. DBJH représente la bouteille jaune, CJ(ci) le parapluie jaune associé à un coton imbibé de Synéis Appât®, CJ(pi) le parapluie jaune avec le Synéis Appât® appliqué sur la paroi et TM la tâche de Synéis Appât sur le maïs

Abréviations : Parapluie jaune avec coton imbibé de Synéis Appât® : **CJ (ci)**, Parapluie jaune avec coton imbibé d'eau : **CJ (eau)**, Parapluie jaune avec coton imbibé de Synéis Appât® et glu sur la paroi intérieure : **CJG (ci)**, Parapluie jaune avec glu sur la paroi intérieure : **CJG**, Parapluie jaune seul : **CJ**, Parapluie jaune avec Synéis Appât® et glu appliqués sur la paroi intérieure : **CJG (pi)**, Tâche de Synéis Appât sur maïs : **TM**, Assiette jaune : **AJ**, Mc Phail : **MCP**, Demi bouteille jaune verticale : **DBJV**, Parapluie jaune avec Synéis Appât® appliqué sur la paroi intérieure : **CJ (pi)**, Demi bouteille jaune horizontale : **DBJH**, Fond de bouteille transparente de 1,5 L : **FBT**, Fonds de bouteilles d'huile colorés : **FBJ**, **FBR**, **FBB**, Haut de bouteille transparente de 5L : **B5L**. (Supports détaillés en annexe).

3.2. Comparaison des supports

Suite aux essais précédents, quatre supports ont été retenus pour être comparés au champ.

3.2.1. Matériel et méthodes

On souhaite comparer au champ les supports DBJH, CJ (pi), CJ (ci) et TM. On réalise l'observation sur une parcelle de Cucurbitacées entourée de bordures de maïs à Petite Ile le 03/03/2010. Les 4 supports sont disposés sur chacune des 4 bordures de maïs, pour concentrer les populations de mouches, et permettre de faire des observations sur une plage de temps plus courte. L'observation est réalisée sur une plage de 3 heures avec des comptages toutes les demi-heures. L'ordre des pièges est randomisé pour chaque bordure de maïs. L'évaluation de l'efficacité de chaque dispositif se fait selon plusieurs critères : le nombre total de mouches des légumes (toutes espèces confondues) attirées pendant l'observation et les mouches des légumes qui ingèrent le SA.

3.2.2. Résultats

La figure 30 représente le nombre total de mouches des légumes, toutes espèces confondues, observées sur 4 supports de chaque sorte pendant 3 heures. DBJH attire le plus grand nombre de mouche des légumes (26 mouches en 3h pour 4 bouteilles). Vient ensuite CJ (pi) (20 mouches) puis TM (15 mouches) et CJ (ci) (7 mouches).

La bouteille (DBJH) semble avoir une attractivité plus élevée au champ que les autres dispositifs testés.

La figure 31 présente le nombre de mouches se nourrissant du Synéis Appât® pour chaque support. DBJH est le support sur lequel le plus de mouches en train de s'alimenter ont été observées (20 mouches). Pour CJ(ci), les mouches ne s'alimentent pas. Les différences de comportement adopté par les mouches en présence de chaque dispositif, mettent en évidence, les différences d'efficacité des dispositifs.

L'efficacité du support se traduit par la proportion de mouches accédant au produit et l'ingérant. Au champ la bouteille jaune (DBJH) semble être le plus efficace des dispositifs testés

3.2.3. Conclusion

Aux vues de toutes les expérimentations précédentes en cage et au champ le support retenu pour la suite est la demi-bouteille jaune horizontale (DBJH). En effet ce support semble rassembler un maximum de qualités requises par le cahier des charges. Sa forte attractivité observée en cage semble se confirmer au champ et sa surface d'application du Synéis Appât® est étendue et accessible ce qui est, comme nous l'avons vu plus haut, une caractéristique clé dans l'attraction des mouches des légumes.



Source : C. Delpoux

Figure 32 : Demi bouteille jaune horizontale avec Synéis Appât® sous treille de chouchou (Entre Deux, Réunion)



Figure 33 : Echelle de lessivage du Synéis Appât® sur DBJH. Echelle réalisée à partir de supports DBJH restés 20 jours sous treille de chouchous.

Abréviations : Parapluie jaune avec coton imbibé de Synéis Appât® : **CJ (ci)**, Parapluie jaune avec coton imbibé d'eau : **CJ (eau)**, Parapluie jaune avec coton imbibé de Synéis Appât® et glu sur la paroi intérieure : **CJG (ci)**, Parapluie jaune avec glu sur la paroi intérieure : **CJG**, Parapluie jaune seul : **CJ**, Parapluie jaune avec Synéis Appât® et glu appliqués sur la paroi intérieure : **CJG (pi)**, Tâche de Synéis Appât® sur maïs : **TM**, Assiette jaune : **AJ**, Mc Phail : **MCP**, Demi bouteille jaune verticale : **DBJV**, Parapluie jaune avec Synéis Appât® appliqué sur la paroi intérieure : **CJ (pi)**, Demi bouteille jaune horizontale : **DBJH**, Fond de bouteille transparente de 1,5 L : **FBT**, Fonds de bouteilles d'huile colorés : **FBJ**, **FBR**, **FBB**, Haut de bouteille transparente de 5L : **B5L**. (Supports détaillés en annexe).

3.3. Comportement du support retenu au champ, face à la pluie et au soleil

On cherche à évaluer le comportement des DBJH au champ face à la pluie et au soleil.

3.3.1. Matériel et Méthodes

Le comportement des DBJH est évalué au champ sous treille de chou chou (figure 32). On accroche 20 DBJH sous la treille, qu'on laisse pendant 20 jours. Elles sont ensuite retirées et étudiées. Pour chaque support, le niveau de lessivage est évalué qualitativement pour avoir une idée de l'impact de la pluie sur les DBJH. Ils sont classés par niveau de lessivage selon l'échelle de la figure 33. Le niveau 0 correspond à un lessivage nul c'est-à-dire une bouteille sur laquelle est appliqué du SA frais. Le niveau le plus haut de lessivage (niveau 5) correspond à une bouteille sans produit (lessivage total du produit). Le niveau de précipitations pendant ces 20 jours est obtenu dans la base de données Météo France « Climathèques » pour la station Ravine Citron proche de la parcelle. Le spectre de réflectance dans le visible de chaque bouteille est mesuré à l'aide d'un spectromètre (LabSpec® 5000/5100 Portable Vis/NIR Spectrometer, ASD Inc., Boulder, CO) pour évaluer la perte de couleur des bouteilles jaunes sous treille de chou chou.

3.3.2. Résultats

Lessivage

Les DBJH ont été soumises à 55,5 mm de pluie pendant ces 20 jours. La figure 34 représente la proportion de bouteilles pour chaque niveau de lessivage. Il y a 45% des bouteilles qui correspondent au niveau 2 de lessivage, 25% au niveau 1, et 15% pour le niveau 3 et le niveau 4. Les deux niveaux de lessivage les plus bas représentent à eux deux 70% des bouteilles. Le lessivage du support est donc assez limité sous treille de chou chou.

Les DBJH limitent fortement le lessivage du Synéis Appât®, sous treille de chou chou. Des traces de produit subsistent, malgré les précipitations.

Perte de coloration

Afin d'obtenir un spectre moyen pour la totalité des dispositifs, les valeurs de réflectance des 20 supports DBJH pour chaque longueur d'onde sont moyennées. Celui-ci est présenté sur la figure 35, comparé au spectre de réflectance d'une bouteille jaune neuve.

Les deux spectres ont une allure identique. Mais les valeurs maximales de réflectance sont différentes. La bouteille jaune neuve atteint un seuil plus élevé (0,70200 pour 594 nm) que les bouteilles ayant séjourné sous la treille de chou chou (0,65979 pour 543 nm). Les bouteilles semblent donc perdre en réflectance. Ce phénomène est sans doute lié à une perte couleur.

Une baisse de réflectance des bouteilles jaunes est observée au cours du temps sous treille de chou chou. Elle pourrait être la cause d'une baisse d'attractivité du dispositif.

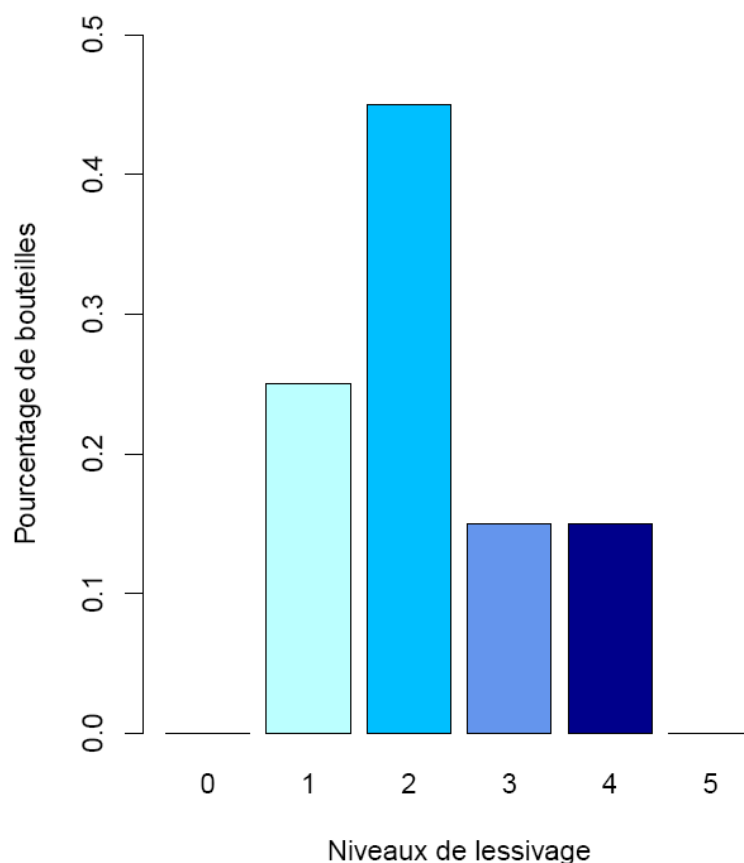


Figure 34 : Lessivage des bouteilles jaunes (DBJH) sous treille de chou chou au bout de 20 jours. Les niveaux de lessivage correspondent à l'échelle de lessivage figure 33.

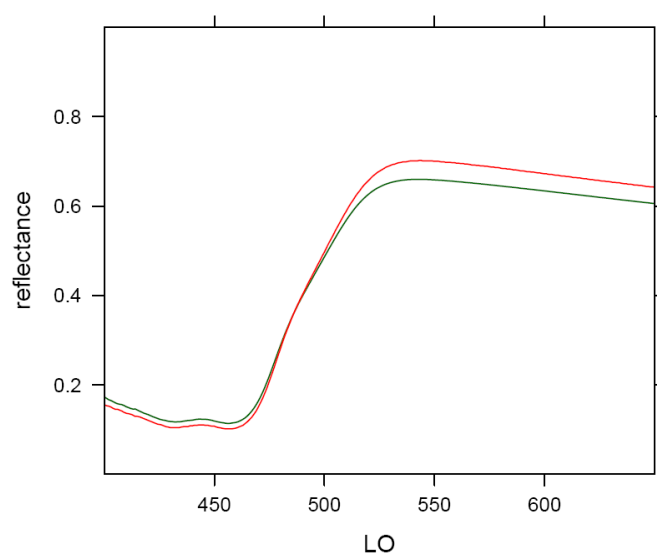


Figure 35 : Spectre de réflectance de différentes bouteilles jaunes (DBJH). La courbe rouge représente le spectre d'une bouteille jaune neuve, et la verte la moyenne des spectres de 20 bouteilles restées 20 jours sous treille de chou chou. LO est la longueur d'onde en nm.

Abréviations : Parapluie jaune avec coton imbibé de Synéis Appât® : **CJ (ci)**, Parapluie jaune avec coton imbibé d'eau : **CJ (eau)**, Parapluie jaune avec coton imbibé de Synéis Appât® et glu sur la paroi intérieure : **CJG (ci)**, Parapluie jaune avec glu sur la paroi intérieure : **CJG**, Parapluie jaune seul : **CJ**, Parapluie jaune avec Synéis Appât® et glu appliqués sur la paroi intérieure : **CJG (pi)**, Tâche de Synéis Appât sur maïs : **TM**, Assiette jaune : **AJ**, Mc Phail : **MCP**, Demi bouteille jaune verticale : **DBJV**, Parapluie jaune avec Synéis Appât® appliqué sur la paroi intérieure : **CJ (pi)**, Demi bouteille jaune horizontale : **DBJH**, Fond de bouteille transparente de 1,5 L : **FBT**, Fonds de bouteilles d'huile colorés : **FBJ**, **FBR**, **FBB**, Haut de bouteille transparente de 5L : **B5L**. (Supports détaillés en annexe).

4. Discussion

Le Synéis Appât®, homologue du GF 120 utilisé à Hawaii, est généralement appliqué sur des plantes pièges dans le cadre d'une gestion agroécologique des mouches des légumes à La Réunion. L'utilisation de plantes de bordures permet la concentration de la population de mouches et par conséquent l'augmentation de l'efficacité du produit. Cependant, il a été observé que l'attractivité du GF 120 sur *B.cucurbitae* se réduit considérablement 24h après application du produit et est quasi inexistante après exposition à 8mm de précipitation (Prokopy *et al.* 2003 ; Revis *et al.* 2004). Il est donc nécessaire d'associer le produit à un stimulus visuel qui augmentera le temps d'attractivité et de protéger le Synéis Appât® des précipitations importantes. Pour cela un support du Synéis Appât®, répondant aux contraintes liées à l'île de La Réunion a été mis au point.

4.1. Pertinence des résultats par rapport aux objectifs

4.1.1. Mise au point d'un nouveau support du Synéis Appât® adapté aux contraintes imposées par La Réunion

De nombreuses publications réfèrent à l'efficacité du GF120®, un homologue du Synéis Appât®. Il a été testé sur de nombreuses espèces de mouches en cage comme au champ. Des tests d'attraction et de toxicité du GF-120®, effectués dans une pépinière de pamplemousse, ont permis par exemple de supprimer 80% des mouches par rapport à un témoin GF-120® sans insecticide (Mangan, 2009). Les exemples d'efficacité du GF-120 utilisé hors laboratoire sont nombreux dans la littérature scientifique. Beaucoup viennent de Hawaii, où le mélange a été expérimenté avec succès contre *C. capitata*, *B. dorsalis* et *B. latifrons* (Vargas *et al.*, 2001, 2003 ; Barry *et al.*, 2003 ; Prokopy *et al.*, 2004 ; Revis *et al.*, 2004 ; Stark *et al.*, 2004 ; Piñero *et al.*, 2009). Dans notre étude le Synéis Appât® a montré son efficacité une fois appliqué sur le nouveau support. Il permet d'obtenir jusqu'à 90% de mortalité en grande cage pour *B.cucurbitae*.

Deux types d'applications ont été comparés dans cette étude : sur coton et sur paroi. La différence d'efficacité a été imputée à la surface d'application qui était différente entre les deux modalités. Il faut noter également que la « concentration » du produit diffère entre les deux types d'application. L'application sur paroi est réalisée par badigeonnage alors que le coton est totalement imbibé de produit. La quantité de produit à laquelle sont exposées les mouches n'est pas identique. De ce fait la diffusion des composés volatiles du Synéis Appât® pourrait être différente entre les deux modalités d'application et influencer sur l'attractivité du support.

Le stimulus visuel est une des caractéristiques du support qui s'est avérée importante. C'est une des composantes essentielles de la méthode « attract-and-kill » (Foster & Harris, 1997 ; Vincent *et al.*, 2003). Il a été montré que selon les espèces de mouches, la sensibilité aux couleurs était différente. Par exemple les individus de l'espèce *Rhagoletis Pomonella* sont sensibles aux couleurs sombres qui contrastent sur un fond clair (Agee, 1985), alors que *Bactrocera dorsalis* est attirée par les couleurs à forte réflectance comme le jaune et le blanc (Wu *et al.*, 2007). Vayssière (1999) a testé l'effet de la forme et de la couleur de leurres sur *Dacus ciliatus*. Il en résulte que les couleurs jaunes sont significativement plus attractives que les autres couleurs testées et que les leurres qui ont une taille importante sont les plus attractifs (concept de super-stimulus). D'autre part, Piñero *et al.* (2009), ont montré que leurs supports jaunes du GF 120® attiraient plus de mouches des espèces *B.cucurbitae*, *B.dorsalis* et *C. capitata* que les mêmes supports peints en vert. Dans le cadre

Abréviations : Parapluie jaune avec coton imbibé de Synéis Appât® : **CJ (ci)**, Parapluie jaune avec coton imbibé d'eau : **CJ (eau)**, Parapluie jaune avec coton imbibé de Synéis Appât® et glu sur la paroi intérieure : **CJG (ci)**, Parapluie jaune avec glu sur la paroi intérieure : **CJG**, Parapluie jaune seul : **CJ**, Parapluie jaune avec Synéis Appât® et glu appliqués sur la paroi intérieure : **CJG (pi)**, Tâche de Synéis Appât sur maïs : **TM**, Assiette jaune : **AJ**, Mc Phail : **MCP**, Demi bouteille jaune verticale : **DBJV**, Parapluie jaune avec Synéis Appât® appliqué sur la paroi intérieure : **CJ (pi)**, Demi bouteille jaune horizontale : **DBJH**, Fond de bouteille transparente de 1,5 L : **FBT**, Fonds de bouteilles d'huile colorés : **FBJ**, **FBR**, **FBF**, Haut de bouteille transparente de 5L : **B5L**. (Supports détaillés en annexe).

de notre étude, le jaune a été également déterminé comme la couleur la plus attractive pour *B. cucurbitae*.

Notre étude a permis de dégager les caractéristiques principales auxquelles doit répondre le nouveau support pour optimiser l'efficacité du Synéis Appât® : (i) La surface d'application du Synéis Appât® doit être la plus étendue et la plus accessible possible, (ii) le support doit constituer un stimulus visuel pour les mouches. Le cahier des charges, prenant en compte les contraintes liées à La Réunion, imposait également qu'il protège le produit de la pluie et qu'il soit adaptable aux treilles de chouchous.

Le choix final du support s'est porté sur le support DBJH. Il présentait une efficacité plus élevée que le support de référence en grande cage (une plus grande proportion de mouche mangeait le Synéis Appât®), et présentait les caractéristiques techniques favorables (importante surface d'application du Synéis Appât®, très accessible pour les mouches). Lors des tests au champ, une tendance s'est dégagée, portant ce support devant les autres en terme d'attractivité et d'efficacité (nombre de mouches s'alimentant sur le support).

Le DBJH est totalement adaptable aux treilles de chouchous ainsi qu'aux parcelles d'autres Cucurbitacées. Pour ces dernières, il est disposé sur les bordures de maïs qui les entourent. Le support protège également le Synéis Appât® contre la pluie (lessivage fortement limité), notamment grâce à sa bonne stabilité même en présence de vent. Les matériaux qui ont été utilisés dans sa conception sont peu chers et faciles d'obtention (bouteille d'huile jaune et fil de fer). Le support répond globalement au cahier des charges établi plus haut.

4.1.2. Comparaison avec les supports existants

Le support développé par Piñero et al (2009), présente le même type d'application que celui testé ici (DBJH). Le produit est appliqué sur une large zone au niveau des parois du support. Le stimulus visuel du support est similaire : sa réflectance est importante, ce qui semble augmenter fortement l'attractivité du support (Wu et al., 2007). Cependant il est adapté à l'application du Synéis Appât® sur les papayers. Le mode de fixation n'est pas adapté à la culture du chouchou et la mise en place sur des bordures de maïs. Sa prise au vent est également limitante, le support est instable lorsqu'il n'est pas fixé à un arbre ce qui fait baisser son attractivité. Ce support est très bien adapté aux vergers mais semble moins convenir aux cultures de Cucurbitacées de La Réunion.

La facilité d'obtention et le prix raisonnable des matériaux sont des qualités essentielles du support (Piñero, 2009), pour faciliter ensuite son utilisation par les agriculteurs. Le support élaboré par Heath et al. (2008), présente une certaine efficacité en terme de protection contre la pluie, mais la fabrication du support lui-même nécessite beaucoup de réactifs (paraffine, émulsifiants, solidifiants, sirop de maïs...), et de nombreuses étapes de conception. Par conséquent sa mise en pratique semble assez difficile.

Comme il a été dit plus haut, le stimulus visuel du support est important pour son attractivité et par conséquent son efficacité. Les essais sur les supports de Mangan et Moreno (2007), mettent en avant l'importance de la protection du support contre la pluie et son accessibilité mais ne font pas intervenir le signal visuel du support, indispensable dans la mise en place de méthode « attract-and-kill » (Foster and Harris, 1997 ; Vincent et al., 2003).

4.1.3. Application des résultats

Les résultats obtenus ici, fournissent une bonne base pour l'élaboration d'un support applicable et utilisable par les agriculteurs réunionnais. Le DBJH répond à un maximum de critères du cahier des charges préétabli. A ce jour la fréquence d'application recommandée du Synéis Appât® sur les bordures de maïs est de 2 fois par semaine à la Réunion. Pour l'insertion du support dans les pratiques agricoles, il sera nécessaire de réaliser un guide

d'utilisation qui devra notamment déterminer la fréquence d'application du Synéis Appât® sur le support et la densité de piège à mettre sous une treille de chouchou et sur les bordures de maïs autour d'une parcelle de Cucurbitacées.

4.2. Limites et Perspectives d'étude

4.2.1. Difficultés expérimentales

La plupart des études statistiques ont été réalisées sur des résultats obtenus en grandes cages. Cette méthode expérimentale est un bon compromis entre les expérimentations réalisées en laboratoire et celles sur le terrain qui sont fastidieuses à mettre en place (Rousse, 2005). Cependant les résultats sont à nuancer. En effet les grandes cages sont soumises à l'attaque de certains prédateurs comme les fourmis. Elles entrent dans les cages et emportent les corps des mouches mortes (Heath *et al.* 2008). Malgré les comptages toutes les heures de la mortalité, le nombre de mouches mortes peut être sous évalué. Certaines répétitions en ont été affectées même si la tendance restait globalement identique. De plus, il a été observé des variations d'efficacité pour un même support entre les expériences (par exemple la mortalité pour CJ(ci) le support de référence varie de 60 à 80%). Les grandes cages sont en effet soumises à des variations climatiques qui influencent l'attraction par le support et donc la mortalité. Par exemple la position du soleil a un effet sur la répartition des mouches dans la cage et peut induire une variation d'attractivité (Rousse, 2005). Les essais en grandes cages ont essentiellement été réalisés sur des mouches de l'espèce *B. cucurbitae*, qui a été prise comme espèce de référence. Par manque de temps et des difficultés liées à l'élevage en laboratoire, les supports n'ont pas pu être testés sur *D. demmerezi* et *D. ciliatus*.

Les essais sur le terrain n'ont pas pu être analysés statistiquement du fait du manque de répétitions. Le nombre de mouches attiré par les supports était trop faible. A l'approche de l'hiver austral la population de mouche diminue. (Ryckewaert *et al.* 2010).

4.2.2. Limites méthodologiques

La méthodologie utilisée présente quelques limites. L'utilisation de mouches d'élevage peut constituer un biais. Elles n'ont sans doute pas le même comportement que les mouches sauvages, car leur état physiologique et leur alimentation diffèrent. Le nombre de répétition a été limité (généralement à 8 en grande cage), du fait de la mise en place fastidieuse et des observations chronophages.

4.2.3. Perspectives

Les essais en grandes cages doivent être réalisés sur *D. demmerezi* et *D. ciliatus* pour vérifier l'efficacité du support sur ces deux espèces.

Les résultats positifs obtenus en grandes cages doivent être confirmés sur le terrain (Rousse *et al.* 2005), avec plus de répétitions, pendant l'été austral lorsque la population des mouches est à son maximum. Ces essais devront vérifier l'attractivité du support DBJH. En effet l'espace réduit des grandes cages peut modifier le comportement des mouches. Par exemple les stimuli visuels prédominent dans un faible espace (Rousse *et al.* 2005), ce qui peut s'avérer faux dans la nature. Les essais devront également permettre de déterminer la fréquence d'application du Synéis Appât®, ainsi que la densité des supports sous treilles de chouchous et sur bordure de maïs.

Abréviations : Parapluie jaune avec coton imbibé de Synéis Appât® : **CJ (ci)**, Parapluie jaune avec coton imbibé d'eau : **CJ (eau)**, Parapluie jaune avec coton imbibé de Synéis Appât® et glu sur la paroi intérieure : **CJG (ci)**, Parapluie jaune avec glu sur la paroi intérieure : **CJG**, Parapluie jaune seul : **CJ**, Parapluie jaune avec Synéis Appât® et glu appliqués sur la paroi intérieure : **CJG (pi)**, Tâche de Synéis Appât sur maïs : **TM**, Assiette jaune : **AJ**, Mc Phail : **MCP**, Demi bouteille jaune verticale : **DBJV**, Parapluie jaune avec Synéis Appât® appliqué sur la paroi intérieure : **CJ (pi)**, Demi bouteille jaune horizontale : **DBJH**, Fond de bouteille transparente de 1,5 L : **FBT**, Fonds de bouteilles d'huile colorés : **FBJ**, **FBR**, **FBB**, Haut de bouteille transparente de 5L : **B5L**. (Supports détaillés en annexe).

Il faudra également vérifier à long terme si les supports DBJH peuvent se substituer aux traitements par tâches pour les Cucurbitacées cultivées en plein champ, dans la réduction de la population des mouches des légumes.

La « durée de vie » du support devra être évaluée. Des réponses doivent être apportées : La perte de réflectance des supports observée sur le terrain au cours du temps a-t-elle un impact sur l'efficacité du support ? Au bout de combien de temps est-il nécessaire de renouveler les supports ? Le comportement du Synéis Appât® devra être observé et analysé au champ. En effet au bout de 20 jours en application sur le support DBJH un développement de moisissures a été observé. Il faudra déterminer si cela altère ou non l'efficacité du Synéis Appât®.

L'impact du Synéis Appât® associé au nouveau support sur l'attraction des autres insectes et particulièrement sur les parasitoïdes et les prédateurs des mouches des légumes doit être évalué. Dans les études au champ, les supports disposés sur les bordures de maïs n'attiraient pas que des mouches des légumes, d'autres espèces de diptères ont été observées se nourrissant du produit. Il est donc nécessaire de vérifier l'impact du Synéis Appât® associé au support DBJH sur ces insectes.

Conclusion

La présente étude met en évidence les différentes caractéristiques requises pour un nouveau support du Synéis Appât® dans les conditions particulières de la culture de Cucurbitacées à la Réunion. Le support retenu, suite aux expériences menées en cage comme au champ, est le support DHBJ (constitué d'une demi bouteille jaune horizontale accrochée par du fil de fer). Il a montré son efficacité en grande cage et semblait plus attractif que les autres pièges testés au champ. Les matériaux utilisés et sa structure simple permettront une fabrication et une mise en place facilitée. Ce support répond aux principales contraintes imposées par le cahier des charges : il limite fortement le lessivage, possède un fort pouvoir attractif, s'adapte à la culture sous treille comme aux bordures de maïs et conserve l'efficacité du Synéis Appât®.

Il conviendra cependant de tester ce support au champ pour évaluer son efficacité ainsi que la densité de supports nécessaire et leur durée de vie. La détermination de ces paramètres permettra la possible insertion du support dans les pratiques agricoles des exploitants de La Réunion.

Abréviations : Parapluie jaune avec coton imbibé de Synéis Appât® : **CJ (ci)**, Parapluie jaune avec coton imbibé d'eau : **CJ (eau)**, Parapluie jaune avec coton imbibé de Synéis Appât® et glu sur la paroi intérieure : **CJG (ci)**, Parapluie jaune avec glu sur la paroi intérieure : **CJG**, Parapluie jaune seul : **CJ**, Parapluie jaune avec Synéis Appât® et glu appliqués sur la paroi intérieure : **CJG (pi)**, Tâche de Synéis Appât sur maïs : **TM**, Assiette jaune : **AJ**, Mc Phail : **MCP**, Demi bouteille jaune verticale : **DBJV**, Parapluie jaune avec Synéis Appât® appliqué sur la paroi intérieure : **CJ (pi)**, Demi bouteille jaune horizontale : **DBJH**, Fond de bouteille transparente de 1,5 L : **FBT**, Fonds de bouteilles d'huile colorés : **FBJ**, **FBR**, **FBB**, Haut de bouteille transparente de 5L : **B5L**. (Supports détaillés en annexe).

Bibliographie

Agee H.R.1985. Spectral response of the compound eye of the wild and the laboratory-reared apple maggot fly, *Rhagoletis pomonella*. *Journal of Agricultural Entomology* 2, 147-154.

Altieri M.A., 1999. The ecological role of the biodiversity in agroecosystems. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 74: 19-31 pp.

Barry J. D., R. I. Vargas, N. W. Miller, and J. G. Morse. 2003. Feeding and Foraging of Wild and Sterile Mediterranean Fruit Flies (Diptera: Tephritidae) in the Presence of Spinosad Bait. *J. Econ. Entomol.* **96**(5): 1405-1411.

Cook S.M., Khan Z.R., Pickett J.A., 2007. The use of Push-Pull in Integrated Pest Management. *Annual Review of Entomology* 52:375-400 pp.

Dalgaard T., Hutchings N.J., Porter J.R. 2003. Agroecology, scaling and interdisciplinary. *Agriculture Ecosystems and Environment* 100, 39-51 pp.

Deguine J.P., Ferron P., Russell D., 2008. Protection des cultures : de l'agrochimie à l'agroécologie. Editions QUAE

Deguine J.P., Ferron P., Russell D., 2009. Crop protection : from agrochemistry to agroecology. Science Publishers, Enfield, NH, USA

Dupraz C., 2006. Entre agronomie et écologie : vers la gestion d'écosystèmes cultivés. In :Déméter 2006. Economie et stratégies agricoles. Club Déméter, Paris, 73-89 pp.

Etienne J.,1974. Lutte biologique contre les mouches des fruits. Rapport annuel IRAT-Réunion : 93-107 pp.

Etienne J.,1982. Etude systématique, faunistique et écologique des Tephritidae de la Réunion. Thèse de doctorat, Ecole Pratique Hautes Etudes, Paris, 100p.

Foster S.P. & Harris M.O., 1997. Behavioral manipulation methods for insect pest management. *Annual Review of Entomology* 42: 123–146.

Fullaway D.T. 1920. The melon fly: its control in Hawaii by a parasite introduced from India. *Hawaiian Forester and Agriculturist*, 17 : 101-105 pp.

Gurr G.M., Wratten S.D., Altieri M.A.,2004. Ecological engineering for enhanced pest management : towards a rigorous science. In : Ecological engineering for Pest management. *Advances in Habitat Manipulation for Arthropods*. Gurr G.M., Wratten S.D., Altieri M.A. (eds), *CSIRO and CABI Publishings, Collingwood, VIC, Australia, and Wallingford, Oxon, UK*, 219-225 pp.

Harper L.J., 1974. The need to focus on agro-ecosystems. *Agroecosystems*, 1:1-12 pp.

Heath RR, Lavallee SG, Schnell E, Midgarden DG & Epsky ND, 2009. Laboratory and field cage studies on female-targeted attract-and-kill bait stations for *Anastrepha suspensa* (Diptera:Tephritidae). *Pest Management Science* 65: 672–677.

Îto Y., Koyama J., 1982. Eradication of the melon fly: role of population ecology in the successful implementationof the sterile insect release method. *Protection ecology*, 4:1-28 pp.

Jones E.L., Skepper A.H., 1965. Suppression of the Queensland fruit fly, *Dacus tryoni* (Frogg), Tephritidae (Dip) in Narrebedera, New south Wales. Agric Gazette N.S.W., 76: 501-503 pp.

Kakinohana H., Kuba H., Kohama T., Kinjo K., Taniguchi M. Nakamori H., Tanahara A. Sokei Y; 1997. Eradication of the melon fly *Bactrocera cucurbitae* Coquillett, by mass release of sterile flies in Okinawa Prefecture, Japan. Japan Agricultural Research Quarterly, 31 (2) : 91-100 pp.

Knipling E.F , 1955. Possibilities of insect control or eradication through the use of sexually sterile males. Journal of Economic Entomology, 48:459-462 pp.

Maher Ali A., 1957. On the bioeconomics of *Dacus ciliatus* Loew (Diptera Trypanaeidae). Bulletin of the Entomological Society of Egypt, 41:527-533 pp.

Mangan, R. L. 2009. Effects of Bait Age and Prior Protein Feeding on Cumulative Time-Dependent Mortality of *Anastrepha ludens* (Diptera: Tephritidae) Exposed to GF-120 Spinosad Baits. *J. Econ. Entomol.* **102**(3): 1157-1163.

Mangan R.L, Moreno D.S, 2007. Development of Bait Stations for Fruit Fly Population Suppression. *J. Econ. Entomol.* 100(2): 440-450

Mangan R.L., Moreno D.S., Gary D. 2005. Bait dilution, spinosad concentration, and efficacy of GF-120 based fruit fly sprays. *Crop Protection* 25 (2006) 125–133

McGregor AM, 2007. An economic of the Hawaii fruit fly Area-Wide Pest Management Program. 81p.

McPhail M., 1939. Protein lures for fruit flies. *Journal of Economic Entomology.* 32:758-761 pp.

Moutia A., 1934. Report of the Department of Agriculture, Mauritius. Entomological Division 1933:25-29 pp.

Nicholls CI, Altieri MA, 2004. Agroecological bases of ecological engineering for pest management. In "Gurr GM, Wratt SD Altieri MA, Ecological engineering for pest management. . Advances in Habitat Manipulation for Arthropods. *Collingwood, Australia, and CABI Wallingford, UK.* 33-54 pp.

Nishida, T., H. A. Bess, and A. Ota. 1957. Comparative effectiveness of malathion and malathion yeast hydrolysate bait sprays for control of melon fly. *J. Econ. Entomol.* 50: 682-684.

Orian AJE , Moutia LA, 1960. Fruit flies (Trypetidae) of economic importance in Mauritius. *Revue Agricole sucrière de l'île Maurice.* 39,142-150 pp.

Paulian R, 1953. Recherches sur les insectes d'importance biologique à Madagascar. XII, les mouches des fruits. Mémoires de l'Institut Scientifique de Madagascar, série E, 3 :2-7 pp.

Piñero J.C., Mau R.F.L., McQuate G.T. & Vargas R.I., 2009. Novel bait stations for attract-and-kill of pestiferous fruit flies. *The Netherlands Entomological Society* DOI: 10.1111/j.1570-7458.2009.00912.

Abréviations : Parapluie jaune avec coton imbibé de Synéis Appât® : **CJ (ci)**, Parapluie jaune avec coton imbibé d'eau : **CJ (eau)**, Parapluie jaune avec coton imbibé de Synéis Appât® et glu sur la paroi intérieure : **CJG (ci)**, Parapluie jaune avec glu sur la paroi intérieure : **CJG**, Parapluie jaune seul : **CJ**, Parapluie jaune avec Synéis Appât® et glu appliqués sur la paroi intérieure : **CJG (pi)**, Tâche de Synéis Appât sur maïs : **TM**, Assiette jaune : **AJ**, Mc Phail : **MCP**, Demi bouteille jaune verticale : **DBJV**, Parapluie jaune avec Synéis Appât® appliqué sur la paroi intérieure : **CJ (pi)**, Demi bouteille jaune horizontale : **DBJH**, Fond de bouteille transparente de 1,5 L : **FBT**, Fonds de bouteilles d'huile colorés : **FBJ**, **FBR**, **FBB**, Haut de bouteille transparente de 5L : **B5L**. (Supports détaillés en annexe).

Piñero J.C.,*, Jácome I, Vargas R. & Prokopy R.J, 2006. Response of female melon fly, *Bactrocera cucurbitae*, to host-associated visual and olfactory stimuli. The Netherlands Entomological Society 261
DOI: 10.1111/j.1570-7458.2006.00485.

Prokopy, R., J., N. W. Miller, J. C. Pinero, J. D. James, L. C. Tran, L. Oride, and R. I. Vargas. 2003. Effectiveness of GF-120 Fruit Fly Bait Spray Applied to Border Area Plants for Control of Melon Flies (Diptera: Tephritidae). *J. Econ. Entomol.* **96**(5) : 1485-1493.

Prokopy, R., J., N. W. Miller, J. C. Pinero, J. D. James, L. Oride, N. Chaney, H. Revis and R. I. Vargas. 2004. How effective is GF-120 Fruit Fly Bait Spray Applied to Border Area Sorghum Plants for Control of Melon Flies (Diptera: Tephritidae). *Florida Entomologist.* **87**(3): 354-360.

Quilici S, Hurtrel B, Messing RH, Montagneux B, Barbet A, Gourdon F, Malvoti A, Simon A, 2004. Successful acclimatization of *Psytalia fletcheri* (Braconidae : Opiinae) for biological control of the melon fly , *Bactrocera cucurbitae* on Reunion Island. In “ BARNES B.N. (eds). Proceedings of the 6th international Symposium on Fruit flies of Economic Importance. Stellenbosh, South Africa, 6-10 May 202. Isteg Scientific Publication, Irene (RSA)”. 457-460 pp.

Revis, H. C., R. Prokopy, N. W. Miller, L. Oride, J. Pinero, I. Jacome, and R. I. Vargas. 2004a. Effectiveness of GF-120 protein bait spray applied to differing widths of border. Annual meeting. 14 November 2004

Revis, H. C., N.W. Miller, and R. I. Vargas. 2004b. Effects of Aging and Dilution on Attraction and Toxicity of GF-120 Fruit Fly Bait Spray for Melon Fly Melon Fly Control in Hawaii. *J. Econ. Entomol.* **97**(5): 1659-1665.

Rousse P, Duyck PF, Quilici S and Ryckewaert P. 2005. Adjustment of field cage methodology for testing food attractants for fruit flies (Diptera : Tephritidae). *Annals of the entomological Society of America* 98:402-408

Roessler Y, 1989, Insecticidal Bait and cover sprays. In “Robinson A.S and Hopper G [eps.], Fruit flies, their biology, natural enemies and control. Elsevier, Amsterdam”. 329-336 pp.

Ryckewaert P, Deguine JP, Bréval T, Vayssières JF., 2010 Fruit flies (Diptera : Tephritidae) on vegetable crops in Reunion Island : state of knowledge, control methods and prospects for management (à paraître).

Stark, J. D., R. I. Vargas, and N. W. Miller. 2004. Toxicity of spinosad in protein bait to three economically important tephritid fruit fly species (Diptera: Tephritidae) and their parasitoids (Hymenoptera: Braconidae). *Journal of Economic Entomology.* **97** (3): 911-915.

Steiner, L. F. 1955. Bait Sprays for fruit fly control. *Proc. Hawaiian Entomol. Soc.* **5**: 601-607.

Steiner LF, Harris EJ, Mitchell WC, Fujimoto MS, Christenson LD, 1965. Melon fly eradication by overflooding with sterile flies. *Journal of Economic Entomology* 58:519:522 pp.

Shiga M., 1989. Current program in Japan. In “ A.S. Robinson, G. Hopper (eds) : Fruit flies, their biology, Natural enemies and Control, vol 3B. Elsevier”, 365-374 pp.

Salgado, V.L., J. J. Sheets, G. B. Watson, and A. L. Schmidt. 1998. Studies on the Mode of Action of Spinosad: The Internal Effective Concentration and the Concentration Dependence of Neural Excitation. *Pesticide Biochemistry and Physiology*. **60**: 103-110.

Shelton AM& Badenes-Perez E, 2006. Concepts and applications of trap cropping in pest management. *Annual Review of Entomology* 51: 285–308.

Vargas RI, Stark JD, Prokopy RJ & Green TA, 2001 Response of oriental fruit fly (Diptera: Tephritidae) and associated parasitoids (Hymenoptera: Braconidae) to different-color spheres. *Journal of Economic Entomology* 84: 1503–1507. parasitoids (Hymenoptera: Braconidae) to different-color spheres. *Journal of Economic Entomology* 84: 1503–1507.

Vargas RI, Stark JD, HertleinM, Mafrá-Neto A, Coler R & Piñero JC 2008 Evaluation of SPLAT with spinosad and methyl eugenol or cue-lure for 'attract-and-kill' of oriental and melon fruit flies (Diptera: Tephritidae) in Hawaii. *Journal of Economic Entomology* 101: 759–768.

Vayssière JF, 1999, Les relations plantes-insectes chez les Dacini (Diptera Tephritidae) ravageurs des Cucurbitacées à La Réunion. Thèse de doctorat, Muséum National d'histoire Naturelle de Paris, 205 p.

Vayssières JF, Carel Y, 1999, Les Dacini (Diptera Tephritidae) inféodés aux Cucurbitacées à La Réunion : gamme de plantes hôtes et stades phénologiques préférentiels des fruits au moment de la piqûre. Comm. Présentée à la IV^{ème} conférence Internationale Francophone d'entomologie (CIFE), St Malo, Annales de la Société Entomologique de France. 5-9/07/98.6 p.

Vincent C, Hallman G, Panneton B & Fleurat-Lessard F , 2003. Management of agricultural insects with physical control methods. *Annual Review of Entomology* 48: 261–282.

Vargas R.I., Piñero J.C., Jacome I., Revis H.C., and Ronald J, 2009. Effectiveness of GF-120 NF Naturalyte Fruit Fly Bait Spray against Different Ages of Melon Fly (Diptera: Tephritidae) Females When Applied to Border Crops of Various Widths. *Proc. Hawaiian Entom. Soc* 41:15-23

Wu W.Y., Chen Y.P, Yang E.C., 2007. Chromatic cues to trap the oriental fruit fly, *Bactrocera dorsalis*. *Journal of Insect Physiology* 53 (2007) 509–

White I.E., Elson-Harris M.M., 1992. Fruit flies of economic significance : their identification and bionomics. CAB. International, Wallingford, 601 pp.

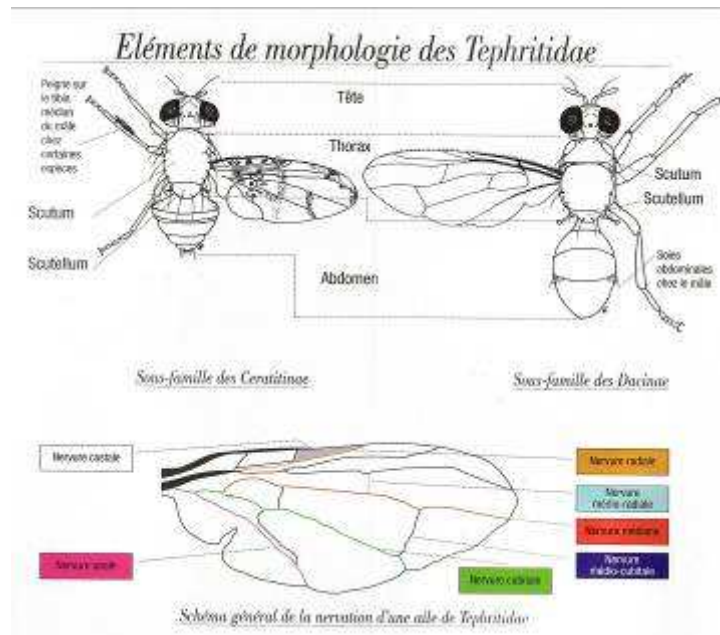
Williams, T., J. Valle and E. Viñuela. 2003. Is the naturally derived insecticide Spinosad[®] compatible with insect natural enemies ?. *Biocontrol Science and Technology*. **13**(5): 459-475.

Wang, X. G., and Messing R. H. 2006. Feeding and attraction of non-target flies to spinosad-based fruit fly bait. *Pest Management Science*. **62**: 933-939.

Yee, W. L., and P. S. Chapman. 2005. Effects of Gf-120 fruit fly bait concentration on attraction, feeding, mortality, and control of *Rhagoletis indifferens* (Diptera: Tephritidae). *J. Econ. Entomol.* **98**: 1654-1663.

Abréviations : Parapluie jaune avec coton imbibé de Synéis Appât[®] : **CJ (ci)**, Parapluie jaune avec coton imbibé d'eau : **CJ (eau)**, Parapluie jaune avec coton imbibé de Synéis Appât[®] et glu sur la paroi intérieure : **CJG (ci)**, Parapluie jaune avec glu sur la paroi intérieure : **CJG**, Parapluie jaune seul : **CJ**, Parapluie jaune avec Synéis Appât[®] et glu appliqués sur la paroi intérieure : **CJG (pi)**, Tâche de Synéis Appât sur maïs : **TM**, Assiette jaune : **AJ**, Mc Phail : **MCP**, Demi bouteille jaune verticale : **DBJV**, Parapluie jaune avec Synéis Appât[®] appliqué sur la paroi intérieure : **CJ (pi)**, Demi bouteille jaune horizontale : **DBJH**, Fond de bouteille transparente de 1,5 L : **FBT**, Fonds de bouteilles d'huile colorés : **FBJ**, **FBR**, **FBB**, Haut de bouteille transparente de 5L : **B5L**. (Supports détaillés en annexe).

Annexes






Annexe 1 : Éléments de morphologie des Tephritidae


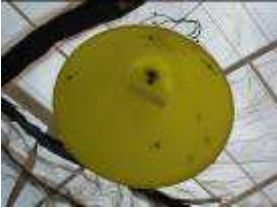






Annexe 2 : Les méthodes de lutte pour la Mouche du melon sur le Terrain

Annexe 3 : Description des supports utilisés dans l'étude

Désignation	Photo	Caractéristiques techniques	Mode d'application Du Synéis Appât®	Abréviation
Support de référence				
Parapluie jaune avec coton imbibé de Synéis Appât®		Cône en plastique jaune (12 cm de diamètre, 12 cm de hauteur et 1 mm d'épaisseur) Attache en plastique (10 cm de longueur dont 2,5 à l'intérieur du parapluie) Coton (4 cm x 3 cm x 0,5 cm)	Coton imbibé	CJ (ci)
Supports testés en grandes cages				
Parapluie jaune avec Synéis Appât® et glu appliqués sur la paroi intérieure		Cône en plastique jaune (12 cm de diamètre, 12 cm de hauteur et 1 mm d'épaisseur) Attache en plastique (10 cm de longueur dont 2,5 à l'intérieur du parapluie) Glu (Kollant S.P.A., Padova, Italie)	Appliqué sur les parois du cône	CJG (pi)
Parapluie jaune seul		Cône en plastique jaune (12 cm de diamètre, 12 cm de hauteur et 1 mm d'épaisseur) Attache en plastique (10 cm de longueur dont 2,5 à l'intérieur du parapluie)	Pas de Synéis Appât®	CJ
Parapluie jaune avec glu sur la paroi intérieure		Cône en plastique jaune (12 cm de diamètre, 12 cm de hauteur et 1 mm d'épaisseur) Attache en plastique (10 cm de longueur dont 2,5 à l'intérieur du parapluie) Glu (Kollant S.P.A., Padova, Italie)	Pas de Synéis Appât®	CJG






Abréviations : Parapluie jaune avec coton imbibé de Synéis Appât® : **CJ (ci)**, Parapluie jaune avec coton imbibé d'eau : **CJ (eau)**, Parapluie jaune avec coton imbibé de Synéis Appât® et glu sur la paroi intérieure : **CJG (ci)**, Parapluie jaune avec glu sur la paroi intérieure : **CJG**, Parapluie jaune seul : **CJ**, Parapluie jaune avec Synéis Appât® et glu appliqués sur la paroi intérieure : **CJG (pi)**, Tâche de Synéis Appât sur maïs : **TM**, Assiette jaune : **AJ**, Mc Phail : **MCP**, Demi bouteille jaune verticale : **DBJV**, Parapluie jaune avec Synéis Appât® appliqué sur la paroi intérieure : **CJ (pi)**, Demi bouteille jaune horizontale : **DBJH**, Fond de bouteille transparente de 1,5 L : **FBT**, Fonds de bouteilles d'huile colorés : **FBJ**, **FBR**, **FBB**, Haut de bouteille transparente de 5L : **B5L**. (Supports détaillés en annexe).

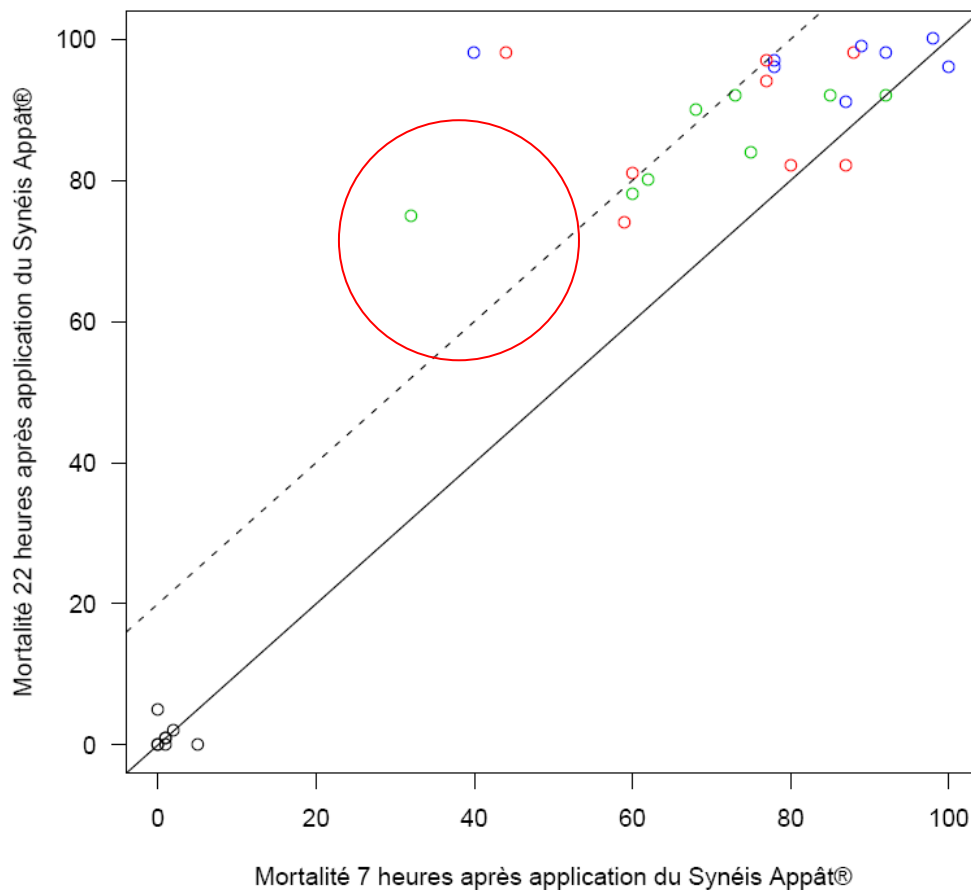
<p>Parapluie jaune avec coton imbibé de Synéis Appât® et glu sur la paroi intérieure</p>		<p>Cône en plastique jaune (12 cm de diamètre, 12 cm de hauteur et 1 mm d'épaisseur) Attache en plastique (10 cm de longueur dont 2,5 à l'intérieur du parapluie) Coton (4 cm x 3 cm x 0,5 cm) Glu (Kollant S.P.A., Padova, Italie)</p>	<p>Coton imbibé</p>	<p>CJG (ci)</p>
<p>Parapluie jaune avec coton imbibé d'eau</p>		<p>Cône en plastique jaune (12 cm de diamètre, 12 cm de hauteur et 1 mm d'épaisseur) Attache en plastique (10 cm de longueur dont 2,5 à l'intérieur du parapluie) Coton (4 cm x 3 cm x 0,5 cm)</p>	<p>Pas de Synéis Appât®</p>	<p>CJ (eau)</p>
<p>Haut de bouteille transparente de 5L</p>		<p>Haut de bouteille d'eau de 5L (Edena, La Possession, Ile de la Réunion, 10,5 cm de hauteur et 14 cm de diamètre) coton (4 cm x 3 cm x 0,5 cm) Fil de fer plastifié (Gamm vert, Paris, France, 1.1 mm de diamètre)</p>	<p>Coton imbibé</p>	<p>B5L</p>

Fonds de bouteilles d'huile colorés		Fonds de bouteilles d'huile (SPHB, St Pierre, Ile de la Réunion, 8,5 cm de hauteur et 7 cm de diamètre) Couleurs : blanc, jaune et rouge Glu (Kollant S.P.A., Padova, Italie) Fil de fer plastifié (Gamm vert, Paris, France, 1.1 mm de diamètre)	Pas de Synéis Appât®	FBJ, FBR, FBB
Fond de bouteille transparente de 1,5 L		Fond de bouteille d'eau de 1.5 L (Edena, La Possession , Ile de la Réunion, 8 cm de hauteur et 7 cm de diamètre) coton (4 cm x 3 cm x 0,5 cm) Glu (Kollant S.P.A., Padova, Italie) Fil de fer plastifié (Gamm vert, Paris, France, 1.1 mm de diamètre)	Pas de Synéis Appât®	FBT
Demi bouteille jaune horizontale		Bouteille d'huile (SPHB, St Pierre, Ile de la Réunion, 13,5 cm de longueur et 7 cm de diamètre) Fil de fer plastifié (Gamm vert, Paris, France, 1.1 mm de diamètre)	Appliqué sur la face inférieure	DBJH

Abréviations : Parapluie jaune avec coton imbibé de Synéis Appât® : **CJ (ci)**, Parapluie jaune avec coton imbibé d'eau : **CJ (eau)**, Parapluie jaune avec coton imbibé de Synéis Appât® et glu sur la paroi intérieure : **CJG (ci)**, Parapluie jaune avec glu sur la paroi intérieure : **CJG**, Parapluie jaune seul : **CJ**, Parapluie jaune avec Synéis Appât® et glu appliqués sur la paroi intérieure : **CJG (pi)**, Tâche de Synéis Appât sur maïs : **TM**, Assiette jaune : **AJ**, Mc Phail : **MCP**, Demi bouteille jaune verticale : **DBJV**, Parapluie jaune avec Synéis Appât® appliqué sur la paroi intérieure : **CJ (pi)**, Demi bouteille jaune horizontale : **DBJH**, Fond de bouteille transparente de 1,5 L : **FBT**, Fonds de bouteilles d'huile colorés : **FBJ**, **FBR**, **FBB**, Haut de bouteille transparente de 5L : **B5L**. (Supports détaillés en annexe).

Supports testés au champ

Parapluie jaune avec Synéis Appât® appliqué sur la paroi intérieure		Cône en plastique jaune (12 cm de diamètre, 12 cm de hauteur et 1 mm d'épaisseur) Attache en plastique (10 cm de longueur dont 2,5 à l'intérieur du parapluie)	Appliqué sur les parois du cône	CJ (pi)
Demi bouteille jaune verticale		Bouteille d'huile (SPHB, St Pierre, Ile de la Réunion, 15 cm de hauteur et 7 cm de diamètre) Fil de fer plastifié (Gamm vert, Paris, France, 1.1 mm de diamètre)	Appliqué sur les parois internes	DBJV
Mc Phail		(pour des détails, consulter Drew, 1982)	Synéis Appât® liquide à l'intérieur	MCP
Assiette jaune		(pour des détails, consulter Piñero <i>et al.</i> 2009)	Appliqué sur la face inférieure	AJ
Tâche de Synéis Appât sur maïs		Tâche d'environ 6 cm de diamètre	Appliqué sur la face supérieure de la feuille	TM



Annexe 4 : Evolution de la mortalité des mouches en grandes cages entre 7 heures et 22 heures après application du Synéis Appât®

La figure représente l'évolution de mortalité entre 7 heures et 22 heures après application du Synéis Appât®. Les points bleus représentent CJ(ci), les noirs CJ, les verts CJG(ci) et les rouges CJG. On distingue 3 points aberrants entourés en rouge. La mortalité de ces points semble avoir été sous estimée lors des mesures durant les 7 premières heures après application du Synéis Appât®. On fait l'hypothèse que ces points aberrants sont liés aux fourmis qui emportent les mouches mortes hors de la cage. Ces 3 points sont enlevés lors de l'analyse statistique.

Abréviations : Parapluie jaune avec coton imbibé de Synéis Appât® : **CJ (ci)**, Parapluie jaune avec coton imbibé d'eau : **CJ (eau)**, Parapluie jaune avec coton imbibé de Synéis Appât® et glu sur la paroi intérieure : **CJG (ci)**, Parapluie jaune avec glu sur la paroi intérieure : **CJG**, Parapluie jaune seul : **CJ**, Parapluie jaune avec Synéis Appât® et glu appliqués sur la paroi intérieure : **CJG (pi)**, Tâche de Synéis Appât sur maïs : **TM**, Assiette jaune : **AJ**, Mc Phail : **MCP**, Demi bouteille jaune verticale : **DBJV**, Parapluie jaune avec Synéis Appât® appliqué sur la paroi intérieure : **CJ (pi)**, Demi bouteille jaune horizontale : **DBJH**, Fond de bouteille transparente de 1,5 L : **FBT**, Fonds de bouteilles d'huile colorés : **FBJ**, **FBR**, **FBB**, Haut de bouteille transparente de 5L : **B5L**. (Supports détaillés en annexe).